

JULIANA JERÁSIO BIANCHE

**INTERFACE MADEIRA-ADESIVO E RESISTÊNCIA DE  
JUNTAS COLADAS COM DIFERENTES ADESIVOS E  
GRAMATURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Bianche, Juliana Jerásio, 2014-  
B577i Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas  
2014 com diferentes adesivos e gramatura / Juliana Jerásio Bianche. –  
Viçosa, MG, 2014.  
xi, 85f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.75-85.

1. Madeira - Adesivo. 2. Mamona. 3. Silicato.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Florestal. Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal.  
II. Título.

CDD 22. ed. 634.98

JULIANA JERÁSIO BIANCHE

**INTERFACE MADEIRA-ADESIVO E RESISTÊNCIA DE  
JUNTAS COLADAS COM DIFERENTES ADESIVOS E  
GRAMATURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 14 de fevereiro de 2014.

---

Benedito Rocha Vital  
(Coorientador)

---

Ana Márcia M. Ladeira Carvalho  
(Coorientadora)

---

Ricardo Marius Della Lúcia

---

Carla Priscilla Távora Cabral

---

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro  
(Orientadora)

*A Deus,*

OFEREÇO

*A minha família,*

DEDICO

*Você diz: “Isso é impossível”*

*Deus diz: “Tudo é possível” (Lucas 18:27)*

*Você diz: “Eu já estou cansado”*

*Deus diz: “Eu te darei o repouso” (Mateus 11:28-30)*

*Você diz: “Não tenho condições”*

*Deus diz: “Minha graça é suficiente” (II. Corintos 12:9)*

*Você diz: “Não vejo saída”*

*Deus diz: “Eu guiarei teus passos” (Provérbios 3:5-6)*

*Você diz: “Eu não posso fazer”*

*Deus diz: “Você pode fazer tudo” (Filipenses 4:13)*

*Quando a alma está feliz, a prosperidade cresce, a saúde melhora, as amizades aumentam, enfim, o mundo fica de bem com você...! O mundo exterior reflete o universo interior.*

*(Mahatma Gandhi)*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, meu Pai amado, que sempre esteve comigo, me guiando e me dando forças ao longo da caminhada.

À minha mãe Águeda Jerásio Leão por não medir esforços para que eu estudasse.

Ao meu super irmão Mateus César Leão Bianche, pela amizade, amor, carinho e por fazer parte da minha vida.

Ao meu namorado Diego, pelo amor, carinho, compreensão, amizade, alegria e por estar comigo em todos os momentos.

Aos meus queridos avós Olímpia Afonso Jerásio e José Leão Júnior (*in memoriam*), pelo amor, carinho e preciosos ensinamentos.

Aos meus tios, tias, primos e primas pelo carinho, alegria, amor, e por torcerem sempre por mim.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

À FAPEMIG, pelo financiamento do projeto.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal (DEF), em especial ao Chiquinho da Floresta, Ritinha (pós-graduação) e Alexandre.

As empresas Momentive Química do Brasil LTDA, KEHL Indústria e Comércio LTDA e Tubominas LTDA pela doação dos adesivos.

À professora Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, pela orientação, ensinamentos, apoio e, acima de tudo, amizade.

Aos professores Benedito Rocha Vital e Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho, pelos ensinamentos e co-orientação.

Ao professor Ricardo Marius Della Lúcia, por toda ajuda durante as colagens, pela disposição e bom humor, pelos bate-papos, ensinamentos e pela participação na banca examinadora.

À Engenheira Florestal e Doutora em Ciência Florestal Carla Priscilla Távora Cabral, pela amizade e participação na banca examinadora.

Aos funcionários do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), em especial, ao Sr. Maninho e Bráulio, pela amizade, bate-papos e incansáveis ajudas e contribuições.

À funcionária do Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM), Leila, pela ajuda nos cortes anatômicos e confecção das lâminas.

À funcionária do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira, Jaqueline, por toda ajuda nas análises químicas.

Aos estagiários graduandos de Engenharia Florestal, João Paulo e Ana Paula, pela amizade e valiosa ajuda no decorrer de todo o trabalho.

Ao núcleo de microscopia e microanálise (NMM) da Universidade Federal de Viçosa, pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Ao Engenheiro Florestal, Mestre em Ciência Florestal, Bruno Geike, pelas inúmeras contribuições nas imagens de microscopia óptica e ângulo de contato e pela disponibilidade em ajudar.

Aos eternos amigos do LAPEM, em especial ao Bráulio, Mariana, Solange, Carla, Júlia, Marcelino, Renato, Zaíra, Fábio (Sete), Flávia, Simone, Marcinha, Déborah, pelos bate-papos, risadas, companhias, e por alegrarem meus dias.

Aos queridos e grandes amigos, Gláucia, Luciana, Renato, Fabiana, pelos momentos de descontração, alegria, por torcerem por minha conquista, pelo carinho de sempre e valiosa amizade.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, infelizmente não pude citar o nome de todas as pessoas, mas agradeço pelas orações, pensamentos positivos, e por torcerem para que tudo desse certo.

## **BIOGRAFIA**

JULIANA JERÁSIO BIANCHE, filha de Águeda Jerásio Leão e Ilson César Bianche, nasceu em 06 de outubro de 1981, em São Pedro dos Ferros, Estado de Minas Gerais. Concluiu o ensino fundamental na Escola Estadual “Effie Rolfs” e o ensino médio no Colégio Equipe, em Viçosa-MG.

Em maio de 2002, iniciou o Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, sendo o mesmo concluído em março de 2007. No mesmo ano, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa, em nível de mestrado, na área de Tecnologia da Madeira, defendendo a dissertação em julho de 2009. Em fevereiro de 2010 iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa, em nível de doutorado, na área de Tecnologia da Madeira, defendendo tese em fevereiro de 2014.

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1. Evolução dos adesivos para madeira.....	5
3.2. Propriedades dos adesivos.....	6
3.2.1. Viscosidade.....	6
3.2.2. Teor de sólidos.....	7
3.2.3. pH.....	7
3.2.4. Tempo de trabalho.....	8
3.3. Colagem de madeiras.....	8
3.3.1. Teorias da adesão.....	9
3.4. Interação madeira-adesivo.....	10
3.4.1. Funções de movimento e mobilidade dos adesivos.....	11
3.5. Influência das propriedades da madeira na colagem.....	13
3.5.1. Propriedades anatômicas.....	13
3.5.1.1. Anéis de crescimento.....	14
3.5.1.2. Cerne e alburno.....	15
3.5.1.3. Grã.....	16
3.5.1.4. Porosidade.....	17
3.5.2. Propriedades químicas.....	17
3.5.3. Propriedades físicas.....	18
3.5.4. Propriedades mecânicas.....	19
3.6. Resistência física e mecânica de juntas coladas.....	19
3.7. Avaliação da interface madeira-adesivo.....	20
3.8. Adesivos.....	22
3.8.1. Resorcinol-formaldeído.....	23
3.8.2. Acetato de polivinila (PVA).....	23
3.8.3. Silicato de sódio.....	24
3.8.3.1. Silicato modificado-Amido.....	26
3.8.4. Adesivos poliuretânicos.....	27
3.8.4.1. Polioliol.....	29



4. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1. Propriedades dos adesivos.....	34
4.1.1. Viscosidade.....	34
4.1.2. Teor de sólidos.....	35
4.1.3. Tempo de trabalho.....	35
4.1.4. pH.....	35
4.2. Determinação do ângulo de contato.....	35
4.3. Caracterização das espécies.....	36
4.3.1. Capacidade tampão e pH.....	36
4.3.2. Análise química.....	37
4.3.3. Análise anatômica.....	37
4.4. Colagem de avaliação da resistência ao cisalhamento.....	38
4.5. Estudo da interface madeira-adesivo.....	39
4.5.1. Determinação da espessura da linha de cola através da microscopia óptica.....	39
4.5.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	40
4.6. Delineamento experimental.....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5.1. Propriedades dos adesivos.....	42
5.2. Propriedades das madeiras.....	44
5.2.1. Capacidade tampão e pH.....	46
5.3. Descrição anatômica qualitativa.....	47
5.3.1. <i>Eucalyptus</i> sp.....	47
5.3.2. <i>Pinus</i> sp.....	47
5.4. Caracterização anatômica quantitativa.....	48
5.5. Ângulo de contato dos adesivos.....	50
5.6. Interface madeira-adesivo.....	56
5.6.1. Microscopia óptica.....	56
5.6.1.1. Espessura da linha de cola.....	56
5.6.2. Microscopia eletrônica de varredura.....	61
5.7. Resistência ao cisalhamento na linha de cola.....	62
5.7.1. Cisalhamento: Condição seca.....	62
5.7.2. Falha na madeira: Condição seca.....	66
5.7.3. Cisalhamento: Condição úmida.....	69
5.7.4. Falha na madeira: Condição úmida.....	70
6. CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

## RESUMO

BIANCHE, Juliana Jerásio. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2014. **Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura.** Orientador: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro. Co-Orientadores: Benedito Rocha Vital e Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

Estudos que envolvem a interação madeira-adesivo em espécies de eucalipto e pinus coladas com adesivos a base de mamona e silicato são escassos, fazendo-se necessário o conhecimento destes adesivos. Este trabalho teve como objetivo estudar a interface madeira-adesivo e a resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura. Foram utilizados cinco adesivos (mamona, silicato de sódio, silicato modificado, PVA e resorcinol-formaldeído), três gramaturas (150 g/m<sup>2</sup>, 200 g/m<sup>2</sup> e 250 g/m<sup>2</sup>) e duas espécies (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.). Determinaram-se as propriedades dos adesivos (viscosidade, teor de sólidos, pH e tempo de trabalho), o ângulo de contato dos adesivos, e as propriedades das madeiras (capacidade tampão e pH, análise anatômica, análise química e a densidade básica). Foram feitas colagens e avaliação da resistência ao cisalhamento na linha de cola das juntas coladas. Para o estudo da interface madeira-adesivo foram utilizadas as técnicas de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura. O adesivo de PVA apresentou maior viscosidade e maior ângulo de contato, sendo o adesivo de menor molhabilidade e umectação. Entretanto o adesivo de mamona apresentou maior teor de sólidos, menor tempo de trabalho e menor ângulo de contato, sendo o adesivo de maior molhabilidade e umectação. As ligações químicas originadas na polimerização dos adesivos de resorcinol-formaldeído e bicomponente de mamona conferiram a estes adesivos maiores resistências na linha de cola. A interação gramatura e adesivo apresentou efeito significativo nos valores de resistência ao cisalhamento e percentuais de falha das juntas coladas de eucalipto, na condição seca, não havendo efeitos isolados do adesivo e gramatura. O tipo de adesivo utilizado teve efeito significativo nos valores de resistência ao cisalhamento e percentuais de falha (condição úmida) das juntas coladas de eucalipto e pinus. Os adesivos de mamona e resorcinol-formaldeído apresentaram os maiores valores de resistência ao cisalhamento na linha de cola e falha na madeira. Os adesivos de mamona, PVA e resorcinol penetraram nas madeiras, preenchendo cavidades celulares adjacentes a

linha de cola principal, nas madeiras de eucalipto (vasos, raios, parênquima) e pinus (células do lenho inicial e tardio, raios, pontoações). O adesivo de mamona apresentou desempenho para a colagem das madeiras de eucalipto e pinus. Para trabalhos futuros recomendam-se: estudar a relação entre diferentes proporções de poliol/isocianato e avaliar a resistência da madeira colada; estudar alternativas para aumentar o tempo de trabalho do adesivo de mamona de forma a facilitar o processo de colagem da madeira.

## ABSTRACT

BIANCHE, Juliana Jerásio. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **Wood-adhesive interface and joints' resistance bonded with different adhesives and weight.** Advisor: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro. Co-Advisors: Benedito Rocha Vital and Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

Studies involving wood-adhesive interactions in species of eucalyptus and pine glued with adhesives based on castor beans and silicate are scarce and knowledge about them is needed. This study aimed to analyze the wood-adhesive interface and the joints' resistance bonded with different adhesives and weight. Five adhesives [castor beans, sodium silicate, modified silicate, PVA (Polyvinyl acetates), and resorcinol-formaldehyde], three weights ( $150 \text{ g/m}^2$ ,  $200 \text{ g/m}^2$ , and  $250 \text{ g/m}^2$ ), and two species (*Eucalyptus* sp. and *Pinus* sp.) were used. The adhesives' properties (viscosity, solids content, pH, and working time), the contact angle of the adhesives, and the wood's properties (buffering capacity and pH, anatomical analysis, chemical analysis, and basic density) were determined. Collages and evaluation of shear strength were made in the glue line from the bonded joints. The techniques of optical and scanning electron microscopy were used to study the wood-adhesive interface. The PVA adhesive showed higher viscosity and greater contact angle and lower wettability and humectancy. However, the castor beans adhesive showed higher solids content, less working time, and lower contact angle; it was the adhesive with greater wettability and humectancy. Chemical bonds originated from polymerization of resorcinol-formaldehyde and bicomponent of castor beans adhesives conferred to them larger strength in the glue line. The weight and adhesive interaction showed significant effect on the values of shear strength and failure percentage of bonded eucalyptus joints in dry condition with no isolated effects on adhesive and weight. The type of adhesive that was used had significant effect on the values of shear strength and failure percentage (wet condition) of glued joints of eucalyptus and pine. Castor beans and resorcinol-formaldehyde adhesives showed the highest values of shear strength on the glue line and failure on the wood. Adhesives of castor beans, PVA, and resorcinol penetrated the woods, filling cell cavities adjacent to the main glue line in eucalyptus (vessels, rays, parenchyma) and pine (cells of early and late wood,

rays, and pits). Castor beans adhesive showed performance for bonding eucalyptus and pine. Further studies are recommended for analyzing the relationship among different proportions of polyol/isocyanate, to evaluate the strength of glued wood, and to analyze alternatives that can increase the working time of the castor beans adhesive so as to facilitate the bonding process of the wood.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a crescente utilização de produtos à base de madeira, e a exigência na qualidade da colagem, é importante compreender a interação da interface entre a madeira e o adesivo. Em relação à colagem da madeira sólida, os estudos já realizados estão mais voltados para a avaliação da resistência das juntas coladas, mas não trazem informações de como esta resistência é formada, ou seja, como ocorreu a interação do adesivo na madeira.

A colagem da madeira sólida é muito antiga, porém, não é simples, pois existem muitas variáveis envolvidas, entre elas podemos citar a composição química, estrutura anatômica, densidade e processamento da madeira, propriedades do adesivo e a gramatura utilizada. Todos esses parâmetros determinam de alguma forma, a qualidade da linha de cola.

Logo, quando se fala em colagem de madeira é importante que se faça a escolha e seleção da madeira, bem como o tipo de adesivo a ser utilizado de acordo com as condições que o produto colado será exposto. Assim, a madeira deve ser isenta de defeitos e imperfeições para que o adesivo possa fluir em sua superfície, transferir para a superfície oposta, penetrar nas cavidades celulares da madeira, umectar a estrutura submicroscópica da madeira e solidificar. Por outro lado, os adesivos apresentam propriedades importantes e que também influenciam na colagem, como por exemplo, a viscosidade e teor de sólidos. A viscosidade está relacionada com o grau de fluidez do adesivo, sendo que a viscosidade alta dificulta a mobilidade e permeabilidade do adesivo na madeira. O teor de sólidos é a quantidade de sólidos contidos no adesivo, ou seja, a quantidade de sólidos que realmente formam a linha de cola.

Na indústria madeireira, muitas pesquisas envolvendo adesivos foram dedicadas à otimização da adesão em madeiras de uso já consagrado como as de eucalipto e pinus para serem utilizadas na indústria moveleira e da construção civil, o que levou ao desenvolvimento nas últimas décadas, de adesivos com características próprias para a colagem desses materiais.

Vale salientar que o adesivo é um componente importante com implicações técnicas e econômicas na colagem da madeira, e o seu custo pode chegar até 50% do preço total do produto final, sendo mais utilizados para colagem de madeiras os

derivados do petróleo, como o resorcinol-formaldeído e fenol-formaldeído, ambos resistentes à umidade, porém apresentam toxicidade, pois emanam formaldeído.

A crescente conscientização ambiental e a conseqüente busca por materiais renováveis fizeram com que fossem desenvolvidos outros adesivos, como o poliuretano bicomponente à base do óleo de mamona e o adesivo à base de silicatos. O adesivo poliuretano bicomponente desenvolvido no Brasil apresenta avanço em sua tecnologia de produção, estando relacionado à vantagem de não emanar formaldeído, além de proporcionar um produto com alta resistência à umidade, de manipulação à temperatura ambiente e grande resistência mecânica. O adesivo à base de silicato é muito utilizado nas formulações para a produção de cimentos, colagem de substratos porosos e chapas metálicas, apresenta baixo custo de produção e preço acessível no mercado.

Entretanto, estudos que envolvem o conhecimento da interação madeira-adesivo, em espécies de eucalipto e pinus coladas com bicomponente de mamona e silicato ainda são escassos, fazendo-se necessário o conhecimento das propriedades destes adesivos e sua viabilidade na aplicação para a colagem de madeiras.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Estudar a interface madeira-adesivo e a resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar as propriedades dos adesivos.
- Determinar o ângulo de contato dos adesivos em madeiras de eucalipto e pinus.
- Avaliar visualmente o tipo de linha de cola (normal, faminta, não-ancorada, pré-endurecida) por tipo de madeira e adesivo.
- Avaliar a influência da anatomia das madeiras nas funções movimento e mobilidade dos adesivos.
- Obter a espessura da linha de cola das juntas coladas com os diferentes adesivos em função das gramaturas utilizadas, através da microscopia óptica.
- Observar a interface madeira-adesivo por meio da técnica de microscopia eletrônica de varredura.
- Determinar as resistências ao cisalhamento e falhas na madeira de juntas coladas com os diferentes adesivos em função das gramaturas utilizadas.
- Avaliar a influência da densidade básica, da anatomia e da composição química da madeira na resistência ao cisalhamento e falha nas juntas coladas.



- Avaliar o desempenho do adesivo de mamona em comparação aos tradicionais utilizados para colagem de madeira para uso estrutural.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Evolução dos adesivos para madeira**

A utilização de adesivos pelo homem não é recente, pois remonta a milhares de anos, tendo registro desde 3.000 anos antes de Cristo, em que os egípcios empregando a goma arábica retirada de essências florestais e uma cola feita com pasta de farinha fizeram os primeiros papiros de lâminas finas, justapostas e coladas (LAURIE, 1910, citado por AZEVEDO, 2009).

Nos anos 30, com o crescimento da área de adesivos sintéticos houve uma grande transformação na produção e no design de móveis. Em 1929 foi desenvolvido o primeiro adesivo sintético, o fenol-formaldeído, posteriormente, em 1931, surgiu o adesivo de uréia-formaldeído e no final dos anos 30, o adesivo de melamina-formaldeído. Ainda no final da década de 30 foi desenvolvido na Alemanha adesivos baseados em isocianatos, sendo utilizados pela primeira vez na década de 40 (IWAKIRI, 2005).

Depois, com o advento da Segunda Guerra Mundial, novos adesivos foram desenvolvidos, como o resorcinol-formaldeído, de maior custo, porém com a cura à temperatura ambiente e mais resistente à água, e os primeiros adesivos poliuretanos criados por Otto Bayer em 1937, na Alemanha (AZEVEDO, 2009). Na década de 50 surgiu o adesivo termoplástico de PVA (acetato de polivinila), apresentando um baixo custo, cura em temperatura ambiente e empregado para usos interiores (IWAKIRI, 2005).

Com o avanço da química das macromoléculas, uma variedade de polímeros, com melhores características quanto ao seu aspecto adesivo, foram desenvolvidos, possibilitando grande expansão das indústrias de adesivos à base de resinas vinílicas, de poliéster e de poliuretanos, além do incremento das aplicações dos processos de colagem, com as mais variadas finalidades (PASSEROTTI, 2008).

A grande maioria dos adesivos utilizados na colagem de madeiras são sintetizados com solventes orgânicos, que são comprovadamente cancerígenos e mutagênicos, o que tem levado as autoridades de saúde a exigir a substituição deste tipo de material por outros que não sejam tóxicos (AZEVEDO, 2009).

Adesivos utilizados em madeira, derivados de matéria-prima renovável, têm sido objeto de diversos estudos. Este interesse tornou-se maior com a crise do petróleo dos anos 70, e, agora, no início do século 21 teve novo impulso com a crise do aquecimento global, em que estão sendo priorizadas as propostas verdes, que não utilizam compostos orgânicos voláteis na sua composição (PIZZI, 2006).

Os poliuretanos derivados do óleo de mamona e os adesivos de silicatos são alternativas para solucionar este problema. A mamona apresenta como vantagem a facilidade de propagação e adaptação em diferentes condições climáticas, podendo ser cultivada e encontrada nas mais variadas regiões do mundo, ressaltando-se que, o clima tropical predominante no Brasil facilitou o seu alastramento pelo país (OLIVEIRA et al., 2009). Os silicatos apresentam uma combinação única de suas propriedades químicas e físicas, que fazem com que estes produtos químicos inorgânicos sejam versáteis e apresentem diversas aplicações (MENDOZA, 2010).

### **3.2. Propriedades dos adesivos**

Algumas propriedades físicas e químicas dos adesivos influenciam a colagem, tais como viscosidade, teor de substâncias sólidas, pH, tempo de trabalho e gel time ou tempo de formação de gel (ALMEIDA et al., 2010).

#### **3.2.1. Viscosidade**

Viscosidade é a propriedade relacionada com o escoamento de um fluido, ou seja, o atrito das camadas internas do fluido que afetam a facilidade de fluir (STELLA, 2009).

Pode ser definida como a resistência ao fluxo livre entre as camadas de uma matéria, ou ainda, a grandeza que caracteriza a existência de atrito entre as moléculas de um fluido e que se manifesta através do escoamento. Portanto, a fluidez de um líquido está relacionada com a sua viscosidade (IWAKIRI, 2005).

Com relação à qualidade da colagem, cabe ressaltar que não são desejáveis valores extremos de viscosidade. Quando a viscosidade do adesivo é alta, a distribuição uniforme do adesivo sobre a madeira é difícil, ocorrendo insuficiente penetração na estrutura da madeira, prejudicando a umectação e podendo originar em

linha de cola espessa. Entretanto adesivos com baixa viscosidade têm maior penetração e sua absorção pela madeira também é maior, sendo que em situações extremas pode resultar em linha de cola faminta ou de absorção excessiva pela madeira (ALMEIDA, 2009).

### **3.2.2. Teor de sólidos**

O teor de sólidos é a quantidade de sólidos resinosos contido no adesivo. O adesivo é composto por componentes sólidos e líquidos voláteis constituídos de solventes orgânicos. Depois, da evaporação dos componentes líquidos ocorre a “cura” ou polimerização do adesivo formando a linha de cola, que é responsável pela ligação entre os substratos e transferência de tensões geradas no sistema madeira – linha de cola – madeira. Esta propriedade é de grande importância na colagem de madeiras, pois é através dele que se sabe quanto de adesivo efetivamente fica, para formar a linha de cola (IWAKIRI, et al., 2005).

A temperatura afeta a taxa de transição do estado líquido para sólido, reduzindo assim o tempo de prensagem. Após a solidificação do adesivo, os sólidos adquirem propriedades diferentes e assumem um novo papel. Durante a colagem, ocorre a coesão. Ao fazer isso, eles se tornam mecanismos de união entre duas superfícies, adquirindo, então, resistência e durabilidade (MARRA, 1992).

### **3.2.3. pH**

O pH de uma solução aquosa é a concentração de íons dissociados de  $H^+$  e  $OH^-$ , e sua determinação é feita pela leitura direta em pHmetro (STELLA, 2009).

O adesivo não deve ultrapassar os limites no mínimo 2,5 e de no máximo 11, pois podem resultar em degradação das fibras da madeira (IWAKIRI, et al., 2005).

A polimerização da maioria dos adesivos para madeira acontece através de uma reação físico-química, muitas vezes influenciada pelo pH. Os adesivos uréia-formaldeído e o fenol-formaldeído, por exemplo, curam em meio ácido e alcalino, respectivamente; portanto uma madeira com alta acidez é mais difícil de colar com adesivo fenol-formaldeído. Por outro lado, a alta acidez da madeira pode provocar

uma pré-cura dos adesivos à base de uréia-formaldeído, durante a pré-prensagem da madeira (ALMEIDA, 2009).

#### **3.2.4. Tempo de trabalho**

O tempo de trabalho é importante para a qualidade do adesivo, pois está relacionado a máxima viscosidade admissível para sua aplicação (STELLA, 2009).

O tempo de trabalho se refere ao tempo de vida útil do adesivo, após sua preparação, até a fase de gel, quando atinge a máxima rigidez (ALMEIDA, 2009). De modo geral, o tempo de trabalho dos adesivos não deve ser longo, pois necessitaria de um maior tempo de prensagem. Entretanto, o tempo de trabalho curto acarreta na dificuldade de aplicação e espalhamento do adesivo na madeira, devido a sua rápida polimerização, provocando queda na resistência da linha de cola (CARNEIRO, 2006).

### **3.3. Colagem de madeiras**

A colagem de madeiras envolve o conhecimento de três conceitos iniciais que são adesão, adesivo e aderente (ABIMCI, 2003):

- Adesão – fenômeno físico e químico que provê um mecanismo de interação entre superfícies sólidas;
- Adesivo – material com propriedades aderentes, isto é, uma substância capaz de manter unidos outros materiais em suas superfícies;
- Aderente – termo usado para sólidos (madeira) unidos por adesivos.

A análise de uma ligação adesiva deve ser feita considerando-se o desempenho do sistema adesivo/aderente. Entre os fatores que influenciam esse sistema estão a solubilidade do adesivo no aderente, a rugosidade do aderente, a penetração do adesivo no aderente, a fluidez e viscosidade do adesivo, a espessura da linha de cola e a pressão aplicada (JESUS, 2000). Segundo o mesmo autor o maior grau de molhagem permite um maior contato entre adesivo e aderente, o que resulta em uma ligação mais resistente. A rugosidade da superfície do aderente pode

proporcionar maior eficiência nas ligações, por apresentar maior área de contato do adesivo com o aderente.

A formação da ligação depende da reatividade entre o adesivo e o substrato. A adesão é um campo muito complexo, além do alcance de qualquer modelo ou teoria, dado o número de fenômenos envolvendo a adesão, a variedade dos materiais a serem colados e a diversidade das condições de colagem. Com relação às madeiras, também são encontradas dificuldades, uma vez que existem grandes diferenças (químicas, físicas e anatômicas) entre espécies de coníferas e folhosas, e variação entre espécies e dentro da espécie (GALEMBECK e GANDUR, 2001).

### **3.3.1. Teorias da adesão**

Os mecanismos envolvidos no processo de adesão podem ser explicados pelas teorias da mecânica, difusão de polímeros e adesão química. A grande maioria dos autores sugere que o processo de adesão ocorre devido à combinação das três teorias de adesão, e não de uma delas isoladamente (SCHUTZ e NARDIN, 1994).

**Teoria de adesão mecânica:** Segundo a teoria da adesão mecânica uma boa adesão ocorre somente quando o adesivo penetra em fendas, ou qualquer outra irregularidade da superfície da madeira e trava-se mecanicamente a mesma. Quando referimos à madeira, é quando um adesivo líquido, devido à sua fluidez, penetra na madeira através dos interstícios fibrilares ocorrendo, posteriormente, a solidificação, com a formação de “ganchos” fortemente presos entre os substratos. Porém, essa teoria não explica a adesão de materiais não porosos, como vidros, metal e plástico, como também de madeiras tropicais muito densas, coladas com adesivos não solúveis em água (SCHUTZ e NARDIN, 1994).

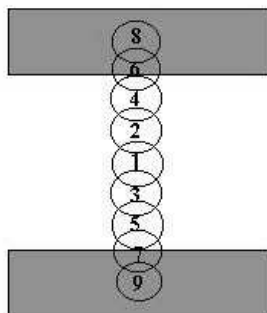
**Teoria da difusão de polímeros:** De acordo com essa teoria, a adesão ocorre por meio da difusão de segmentos, poliméricos, a nível molecular através da interface que permite, conseqüentemente, uma absorção gradual. Esse mecanismo pressupõe que correntes moleculares ou elos de correntes são suficientemente móveis e mutuamente solúveis. É um fato de grande importância para muitos problemas de adesão, como nos processos de penetração e solidificação, que estão relacionados ao

tempo de contato, temperatura e peso molecular dos polímeros, e conseqüentemente refletirá na resistência da linha de cola (SCHUTZ e NARDIN, 1994).

**Teoria de adesão química:** Nesta teoria a adesão ocorre por meio de ligações primárias iônicas ou covalentes, ou por forças intermoleculares secundárias. A reação química produz uma ligação muito forte, em que os materiais colados não podem ser separados sem danificar os materiais já ligados. Os termos primário e secundário originam-se da resistência relativa ou energia de colagem de cada tipo de interação. Por exemplo, a força de uma ligação covalente geralmente encontra-se entre 100 a 1.000 kJ/mol, enquanto a ligação de Van de Waals e as ligações de hidrogênio não passam de 50 kJ/mol (KINLOCH, 1987).

### 3.4. Interação madeira – adesivo

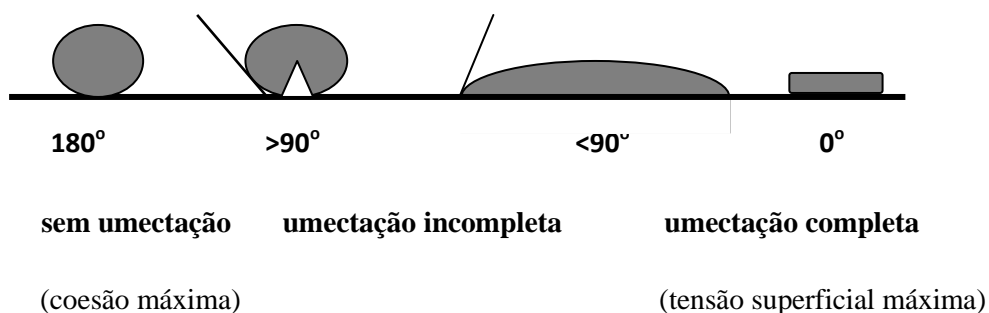
As interações que ocorrem na região entre duas peças de madeira e o ambiente ali criado, no qual o adesivo realiza as ações de movimento, abrangem vários princípios e podem ser caracterizadas por nove elos numa cadeia, na qual cada elo é responsável por uma ação particular do adesivo (Figura 1) (IWARIKI 2005, citado por GOULART, 2009).



**Figura 1.** Elos de conexão entre adesivo e dois substratos (madeira).  
(IWAKIRI, 2005).

O processo de colagem de madeiras se inicia com a aplicação do adesivo sobre a superfície do substrato e nele ocorrem várias fases de movimento do adesivo que finalizam com a sua solidificação, formando ganchos ou pontos de ancoragem entre duas peças coladas. O grau de adesão depende da intensidade adesiva de cada elo de ligação, ou seja, dos aderentes, do adesivo e das interfaces. A Figura 2 mostra

o comportamento de uma gota de líquido (adesivo) em contato com um substrato sólido (madeira).



**Figura 2.** Ângulo de contato e umectação. O comportamento de uma gota do adesivo líquido em contato com um substrato sólido madeira. (IWAKIRI, 2005).

Segundo Iwakiri (2005), após o contato inicial líquido-sólido, duas forças entram em ação: a força de coesão do líquido que tenta manter a sua forma esférica, correspondente ao estado de mínima energia superficial livre e a força de adesão entre líquido e sólido, em função da tensão superficial, que tenta estender a gota na superfície do substrato. Esta competição entre as duas forças leva a diferentes níveis de umectação do substrato pelo líquido e, em função da magnitude das respectivas forças, pode resultar em três situações: umectação completa, incompleta ou sem umectação, dependendo do ângulo formado entre a superfície sólida e a reta tangente ao menisco do líquido, o qual é chamado de ângulo de contato e umectação.

### 3.4.1. Funções de movimento e mobilidade dos adesivos

A profundidade de penetração do adesivo no interior do aderente é dependente da permeabilidade e do tipo de porosidade (forma e dimensões dos poros) do aderente, da viscosidade, do tempo de cura e da tensão de adesão. A fluidez do adesivo tem importância para que sua penetração ocorra de forma adequada sendo que a falta ou excesso de penetração produz espessura da linha de cola deficiente, colaborando com o enfraquecimento da junta, diminuindo a sua resistência (JESUS, 2000).

Segundo Marra (1992) o adesivo deve ser aplicado de forma fluida e ancorar na superfície, ter boa tensão de adesão e boa tensão de coesão (desenvolver



resistência dentro do adesivo). Para viabilizar tecnicamente e economicamente os produtos colados, as propriedades adesivas desejáveis são a preparação mínima da superfície, custo razoável, fácil aplicação com o mínimo de habilidade, fixação dentro de um tempo razoável e não ter rigidez do adesivo antes de polimerizado. Os principais mecanismos para fixação ou cura dos adesivos são a evaporação do solvente, remoção de calor (reativação) e reação química.

No processo de colagem as seguintes funções de movimento e mobilidade do adesivo são observadas (MARRA, 1992, citado por CÉSAR, 2011):

- **Fluidez** - Refere-se à capacidade que o adesivo possui em escoar ou fluir no plano da superfície do substrato;
- **Transferência** - Refere-se ao movimento de passagem para as duas faces a serem unidas, particularmente nas colagens em que só uma das faces recebe o adesivo;
- **Penetração** - Movimento do adesivo nas estruturas capilares da madeira;
- **Umedecimento** – Movimento do adesivo no sentido de recobrir a estrutura submicroscópica do substrato, adquirindo maior proximidade e contato a nível molecular;
- **Solidificação** – Fenômenos envolvidos na mudança do estado físico, incluindo a migração ou evaporação do solvente, orientação molecular, polimerização e “cross-linking”.

Os movimentos do adesivo na formação da ligação variam de acordo com sua composição e das condições de colagem. Dependendo da viscosidade do adesivo a linha de cola formada pode ser classificada em faminta, normal, não-ancorada e pré-endurecida. Ao se utilizar um adesivo de baixa viscosidade, muito fluido, pode ocorrer uma penetração excessiva e desaparecimento do adesivo através da estrutura porosa da madeira, resultando em situação de quantidade insuficiente de adesivo na linha de cola, sendo esta denominada de linha de cola faminta (FRUHWALD, 1977, citado por ALMEIDA, 2009).

Segundo os mesmos autores, quando o adesivo é parcialmente polimerizado durante a aplicação da pressão, resulta em insuficiente mobilidade do adesivo para “fluir, transferir, penetrar e umectar”. Esta situação é conhecida como pré-endurecida. Entre os dois extremos, de muito ou pouco movimento se situa a

movimentação ótima para cada ação, produzindo uma ligação adequada com a solidificação do adesivo sendo denominada de normal. A condição situada entre a “normal e a “pré-endurecida”, onde há suficiente mobilidade para fluidez, alguma transferência e penetração, mas não o suficiente para “umectação”, é denominada de não ancorada.

### **3.5. Influência das propriedades da madeira na colagem**

As propriedades da madeira possuem um nítido efeito nas ligações adesivas e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades do que as coníferas. As principais propriedades da madeira que influenciam no processo de formação e desempenho da ligação adesiva são as propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas.

#### **3.5.1. Propriedades anatômicas**

A estrutura anatômica é muito diversificada, especialmente em espécies de folhosas, compostas por elementos celulares que se arranjam de várias formas para constituir o lenho. Essa organização celular depende da espécie botânica, da idade da planta e das condições ambientais na qual a mesma se desenvolve (FAHN, 1982).

Além disso, cada elemento celular apresenta uma característica quanto à forma e dimensões estando atreladas às características genótípicas da espécie, função do elemento celular e posição filogenética (BASS, 1982, citado por URBINATI, 2013).

As propriedades anatômicas da madeira possuem uma significativa influência na colagem, a exemplo da variabilidade na densidade e porosidade que ocorre em lenhos inicial e tardio, cerne e alburno, lenho juvenil e adulto. Igualmente, destaca-se a influência da instabilidade dimensional do lenho de reação, assim como o da direção da grã, em que a penetrabilidade se relaciona com a direção de corte (ALBUQUERQUE e LATORRACA, 2000).

De acordo com Marra (1992) as características dos anéis de crescimento, do cerne e alburno, da idade da árvore, da porosidade, do lenho de reação e do ângulo de

inclinação dos elementos celulares estão envolvidas de forma favorável ou desfavorável, uma vez que podem favorecer ou não o processo de colagem.

No processo de colagem da madeira ocorrem simultaneamente diversos mecanismos de adesão. A influência da anatomia da madeira no processo de colagem está relacionada à sua estrutura no que se refere às diferenças de dimensões dos elementos celulares, tamanho, disposição e frequência das cavidades celulares que, por sua vez, estão relacionadas com a porosidade e permeabilidade da madeira (ALBINO et al., 2010).

A interação entre adesivo e substrato se dá principalmente pelos vasos e espaços vazios, porém, estudos têm comprovado a participação efetiva dos raios e, em menor quantidade, do parênquima axial nesse processo (ALBINO et al., 2010; SINGH et al., 2008).

#### **3.5.1.1. Anéis de crescimento**

Durante a estação de crescimento das árvores, forma-se diferentes tipos e tamanhos de células, isto dependendo da demanda geneticamente conduzida, que sofre alterações ao longo do tempo. São formados anéis de crescimento onde células de paredes delgadas são originadas no lenho inicial, e células de paredes espessas no lenho tardio. Os anéis resultantes devem ser largos ou estreitos, além de possuir diferentes proporções entre lenho inicial e tardio, dependendo das condições de crescimento, tais como: água; temperatura; clima; tipo de solo; nutrientes; idade; doenças; insetos; sol; vento; competição. As árvores desenvolvem anéis de crescimento que revelam configurações celulares características em cada espécie (ALBUQUERQUE e LATORRACA, 2000).

Em se tratando de colagem de madeira, mais importante que o perfil organizacional, é a proporção de lenho inicial e tardio. Em folhosas, o lenho formado por último, numa estação do ano, normalmente apresenta maior número de fibras do que no lenho formado inicialmente, e desta forma, uma maior quantidade de lenho tardio é formado, proporcionando um material lenhoso de maior densidade. Em madeiras de coníferas, onde o lenho é quase que totalmente formado por traqueídes (proporção de até 95%), as células de lenho tardio possuem paredes celulares mais

espessas, ocasionando uma maior densidade nesta parte do anel de crescimento (MARRA, 1992).

A significativa diferença entre lenho inicial e tardio, e a pequena proximidade entre estas duas zonas na superfície da madeira, são causadores de uma das maiores dificuldades na colagem da madeira. A estrutura diferenciada dos lenhos inicial e tardio em termos de densidade e permeabilidade da madeira pode causar problemas em relação à penetração do adesivo, resultando em linha de cola “faminta” ou “espessa”, o que é contornável pela alteração na formulação do adesivo, com aumento ou redução da viscosidade, no entanto, é de difícil praticidade, em função da grande variabilidade resultante de diferentes planos de corte para obtenção de elementos de madeira (ALBUQUERQUE e LATORRACA, 2005).

### **3.5.1.2. Cerne e alburno**

A transformação do alburno em cerne é conhecida como processo de cernificação. Este processo é caracterizado pela morte das células do parênquima radial, consumo de amido, aumento no conteúdo de extrativos e tiloses (em alguns gêneros), consumo de oxigênio e liberação de CO<sub>2</sub>. O aumento no conteúdo de extrativos, especialmente de polifenóis, se deve à alteração da atividade celular ou fisiológica (HIGUCHI, 1997).

O cerne apresenta diferenças marcantes em relação ao alburno, as quais podem ser interessantes ou não de acordo com a utilização da madeira. O cerne contém mais compostos fenólicos e ácidos e menos amido que o alburno, a lignina do cerne apresenta um peso molecular mais elevado e é mais condensada, o cerne de coníferas contém mais extrativos e menos lignina e celulose, enquanto que em folhosas essas diferenças não são consistentes (BROWNING, 1963);

Durante a prensagem os extrativos presentes no cerne quando voláteis influenciam na permeabilidade da madeira, podendo afetar a colagem, ocorrendo a formação de bolhas (HSU, 1997).

### 3.5.1.3. Grã

A madeira a ser colada geralmente não apresenta superfície perfeitamente radial ou tangencial, e sim, apresenta-se sob ângulos de corte intermediários. O ângulo relativo à direção real das fibras da madeira é o fator mais importante e possui forte influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira e, por conseguinte, nas condições de colagem e desempenho dos produtos colados. A estabilidade dimensional, a resistência mecânica, as condições de acabamento superficial e o movimento da umidade na madeira, estão diretamente relacionados com o ângulo de inclinação da grã (MARRA, 1992).

Os efeitos da inclinação da grã na formação da ligação adesiva estão relacionados principalmente a porosidade, que ocorre em diferentes planos de corte. Por exemplo, em madeiras de grã cruzada, há uma penetração excessiva do adesivo, podendo acarretar em linha de cola faminta. Já em madeiras com grã diagonal, embora não tenha influência direta quanto à formação da ligação adesiva, apresentam alterações dimensionais difusas em função das tensões irregulares, comprometendo a qualidade do produto colado. Madeiras com superfícies lisas e estrutura fechada, apresentam ligação adesiva comprometida, devido à menor penetração do adesivo, reduzindo a área de colagem, resultando em linha de cola fraca (ALBUQUERQUE e LATORRACA, 2000).

Segundo River (1994) o desvio da grã afeta, entre outros, a resistência ao cisalhamento da junta colada. Esta resistência será maior quando a direção da grã é a mesma da força aplicada. Este efeito é devido à disparidade entre as forças de tração e compressão da madeira e à penetração do adesivo. Quando a direção da grã não é paralela à superfície, é muito provável que o adesivo penetre profundamente na madeira.

#### **3.5.1.4. Porosidade**

A porosidade da madeira está relacionada com a densidade e permeabilidade, que por sua vez influencia na movimentação do fluxo de líquidos através da estrutura lenhosa (ALBUQUERQUE e LATORRACA, 2000).

Sellers Jr. (1994) explica que dependendo do tipo de adesivo e da densidade da madeira, o adesivo pode penetrar por três a cinco células, preenchendo as células abertas ou cobrindo suas paredes internas. Para valores muito elevados de densidade tem-se uma reduzida penetração do adesivo. E quanto maior a resistência mecânica da madeira, maior a probabilidade de ocorrer ruptura na linha de cola quando a junta for solicitada a um esforço mecânico. Portanto, o uso de madeiras de maior densidade geralmente exige melhor qualidade do adesivo e dos procedimentos de colagem.

Madeiras que possuem maior porosidade apresentam maior penetração do adesivo na estrutura lenhosa, podendo resultar em linha de cola faminta. Entretanto, madeiras com menor porosidade, possuem baixa permeabilidade ao adesivo o que acarretará em uma ligação adesiva mais espessa, superficial e menos resistente. Faz-se necessário o controle da viscosidade do adesivo em função da sua porosidade, para adequação do grau de penetração na madeira (IWAKIRI, 2005, citado por ALMEIDA, 2013).

#### **3.5.2. Propriedades químicas**

Dependendo das propriedades físicas e químicas dos extrativos, eles podem facilitar ou dificultar o processo de colagem da madeira (PIZZI e MITTAL, 1994). Os extrativos, que definem o pH (potencial hidrogeniônico) da madeira, podem acelerar a reatividade de adesivos, impregnando a superfície da madeira, podendo impedir a aproximação necessária para que ocorra a adesão (ALMEIDA, 2013).

O pH das madeiras varia de acordo com a espécie e se encontra em torno de 3 a 6. A capacidade tampão é característica do adesivo e se refere à capacidade deste em tolerar o contato com materiais mais ácidos ou mais básicos, sem alterar seu pH (CARNEIRO et al.,2007).

Algumas madeiras podem apresentar extrativos com pH que inibem o endurecimento do adesivo, prejudicando o desenvolvimento da resistência e coesão adequada na linha de cola. O pH da madeira pode favorecer o pré-endurecimento do adesivo, impedindo as funções de movimento e mobilidade, como a fluidez, penetração e umectação do adesivo na madeira (ALBUQUERQUE e LATORRACA, 2005).

Na dependência da quantidade e do tipo de extrativo presente na madeira, pode ocorrer uma interferência nas reações de polimerização do adesivo ou uma reação entre o adesivo e o extrativo gerando linhas de cola com fraco desempenho (LIMA et al., 2007). Jankowsky (1988) já considerava tal fato ao concluir que madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem.

### **3.5.3. Propriedades físicas**

A densidade e o teor de umidade da madeira têm grande influência no processo de produção e na qualidade do produto colado (PINTO, 2011).

A densidade da madeira apresenta uma relação inversa com a porosidade e a penetração de adesivos. Em madeiras de baixa densidade, ocorre maior penetração do adesivo e poderá resultar em linha de cola “faminta”. Já em madeiras de alta densidade há maiores alterações dimensionais resultantes das variações de teor de umidade, gerando maiores tensões de linha de cola, dificultando o processo de colagem (IWAKIRI, 2005).

O teor de umidade da madeira é um fator importante para a colagem com todos os tipos de adesivos utilizados na indústria da madeira e móveis, como por exemplo, os adesivos PVAc e poliuretanas, que reagem distintamente em relação ao conteúdo de umidade (LOPES, 2008).

Durante o processo de colagem, a madeira não deve apresentar elevado teor de umidade, principalmente aquela com densidade elevada, visto que a redução do teor de umidade, que ocorre naturalmente para atingir a umidade de equilíbrio com o ambiente, ocasiona contrações que podem resultar em defeitos e tensões na linha de cola (MARRA, 1992).

A maioria dos adesivos para madeira não forma uma linha de cola satisfatória em teores de umidade acima de 20%. O conteúdo de umidade do

substrato, quando submetido à colagem, é um fator muito importante para se obter ligações que apresentem um comportamento adequado em serviço (ALMEIDA, 2013).

#### **3.5.4. Propriedades mecânicas**

No sistema madeira – linha de cola as tensões geradas no produto colado são de extrema importância no balanço geral da resistência. Quanto maior a resistência da linha de cola em relação à resistência da madeira, maior será a porcentagem de ruptura ou falhas na madeira na interface com a linha de cola. As tensões geradas na linha de cola se manifestam através de tensões de cisalhamento no plano da ligação adesiva e no sentido perpendicular ao mesmo (PINTO, 2011).

#### **3.6. Resistência mecânica de juntas coladas**

A função de um adesivo, além de aderir dois substratos, é fluir e preencher espaços vazios entre as juntas a serem coladas, diminuindo assim, a distância entre elas, gerando interações entre o adesivo e o substrato (PIZZI, 1994).

Para avaliar a eficiência do adesivo na união das juntas coladas sob uma determinada temperatura e condições de umidade durante um tempo específico, o adesivo deve ser submetido a testes de carregamento específico, como, por exemplo, de cisalhamento na linha de cola. Os adesivos transferem a carga de um aderente para outro por meio de uma ligação superficial. A resistência das uniões das peças de madeira por adesivos depende da resistência de cada elemento envolvido na união. Muitos adesivos são polímeros reativos, e mudam do estado líquido para o sólido por meio de várias reações de polimerização. O adesivo tem a função de estabelecer ligação química entre as peças de madeira (CARNEIRO, 2010).

A região da junta colada deve ser isenta de defeitos, como nós e fibras irregulares que diminuem a resistência física e mecânica do produto colado. Os ensaios mecânicos realizados na madeira colada avaliam a resistência do adesivo e a qualidade da linha de cola. A qualidade de colagem não depende apenas do adesivo, mas também da espécie de madeira, da gramatura, da pressão aplicada, da temperatura de colagem, das técnicas de obtenção da junta, da limpeza da superfície de colagem, da qualidade da superfície da madeira (NASCIMENTO et al., 2001).



Para avaliar a qualidade da colagem da madeira existem algumas normas, como as normas norte americanas D905-98 e D2339 - 98 que versam sobre os procedimentos para determinação da capacidade de adesão da madeira e ambas exigem que entre os resultados dos testes sejam reportados a resistência das juntas coladas e o percentual de falha na madeira, bem como a variabilidade destes resultados (ASTM, 2000).

Ainda segundo as normas ASTM D2559-99 e D5771-99 que fornecem, respectivamente, as especificações exigidas para o uso estrutural e não-estrutural de componentes de madeira colada, as amostras testadas devem apresentar pelo menos 75 e 60% de falha na madeira, respectivamente. Valores altos para o percentual de falha na madeira são indicativos de boa qualidade na adesão, pois demonstram que a coesão do adesivo e a resistência da interface adesivo-madeira são mais altas que a resistência da própria madeira (ASTM, 2000).

Por outro lado, percentual de falhas baixas indicam que a utilização da madeira não está sendo otimizada com a aplicação do adesivo em teste, já que a ruptura ocorre com tensões menores que a resistência da madeira. Em último caso, a reprodutibilidade dos resultados de resistência das juntas e do percentual de falha na madeira é que indicará a adequação do uso de um determinado adesivo para a colagem de uma determinada espécie de madeira. Investigações acerca das condições de colagem como temperatura, pressão, tratamento das superfícies, entre outros, podem melhorar o desempenho da adesão (DELLA LUCIA e VITAL, 1981).

A norma D5266-99 descreve a técnica de medição das áreas de falha na madeira. Nessa técnica emprega-se uma rede de quadrículas traçada sobre um material transparente. Contudo, esta avaliação, além de demandar muito tempo, ainda é realizada com muita subjetividade (ABRAHÃO et al., 2003).

### **3.7. Avaliação da interface madeira-adesivo**

A compreensão da interação dos substratos madeira-adesivo é de grande importância, pois tal conhecimento permitirá a confecção de produtos de madeira de boa qualidade. Com a crescente utilização de produtos a base de compostos de madeira, faz-se necessário o estudo da interação entre a madeira e o adesivo utilizado na confecção dos produtos colados, principalmente em relação às madeiras do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*, que são as mais utilizadas no Brasil (ALBINO et al., 2010).

Apesar da importância da colagem tanto para aplicação industrial quanto para o conhecimento científico, muito de seus aspectos ainda não são bem entendidos, existindo a necessidade de avaliar a colagem da madeira microscopicamente com o intuito de compreender melhor a interação entre a madeira e o adesivo. As técnicas de microscopias, como a microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura auxiliam a análise do processo de adesão em painéis e juntas coladas de madeira, possibilitando alterações no processo que levem ao aumento da qualidade dos produtos colados (URBINATI, 2013).

A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) se baseia no uso de um feixe de elétrons, extremamente estreito aplicado para varrer a amostra, isto é, o feixe de elétrons é movido para diante e para trás enquanto passa através da amostra, fazendo que a mesma emita elétrons. Logo, a imagem é construída em seqüência, no tempo, na medida em que a amostra é varrida. Os equipamentos para MEV apareceram no mercado, pela primeira vez em 1965, e desde então se têm revelado indispensáveis em muitos tipos de pesquisa biológica, contribuindo para a classificação e taxonomia de insetos e fungos, estudo de morfologia de poléns e em pesquisas de superfícies de diversas estruturas de plantas e animais (GALLETI, 2003).

Singh et al. (2008) combinaram as técnicas de microscopia leve, microscopia eletrônica de varredura e microscopia confocal de fluorescência por varredura para a avaliação da interface entre madeira e adesivo em compensado de *Pinus radiata*. Os autores concluíram que essas técnicas fornecem novas fundamentações para explicar as interligações mecânicas do adesivo nos tecidos da madeira e o desempenho do adesivo.

A técnica de microscopia óptica permite observar a penetração do adesivo na estrutura anatômica da madeira, visualizar a interface madeira-adesivo, a linha de cola, e os elementos anatômicos que foram preenchidos com adesivos (vasos, fibras, raios, etc.) permite ainda, avaliar a superfície de colagem das madeiras, identificar e avaliar o aprisionamento de bolhas resultantes do processo de polimerização do adesivo ou de ar incorporado nos processos de mistura dos adesivos (ALBINO et al, 2010).

Lima et al. (2007) avaliaram a influência da estrutura anatômica de clones de *Eucalyptus* na adesão com o uso de microscopia óptica e observaram que os vasos e raios são as principais estruturas envolvidas na penetração do adesivo.

Brady e Kamke (1988) estudaram através da microscopia de fluorescência o efeito dos parâmetros de prensagem a quente sobre a penetração do adesivo de fenol-formaldeído em aparas de madeira. Segundo os autores a penetração do adesivo foi mais influenciada pela variabilidade anatômica da madeira do que pela temperatura, umidade, tempo e pressão.

### **3.8. Adesivos**

O adesivo é um componente fundamental para produtos manufaturados de madeira, por ser responsável pela ligação entre peças de madeira e transferência de tensões geradas na linha de cola durante a sua utilização (IWAKIRI et al., 2000).

Dos produtos derivados de madeira existentes, cerca de 70% consomem algum tipo de adesivo e há predominância dos adesivos sintéticos (CARNEIRO et al., 2001).

Os adesivos podem ser classificados a partir de diferentes parâmetros como: origem dos componentes primários, temperatura de cura, resistência à umidade, composição química, entre outros. Segundo a composição química os adesivos podem ser inorgânicos ou orgânicos. Adesivo inorgânico mais comum é à base de silicatos. Os adesivos orgânicos em geral são divididos em dois grupos: naturais e sintéticos. Os adesivos naturais são divididos a partir de sua origem se animal ou vegetal, sendo obtidos principalmente a partir de taninos, celulose, caseína, albumina, gomas naturais e amidos. Os adesivos orgânicos sintéticos são os mais empregados pela indústria madeireira devido à sua maior resistência à água e, por não permitir ação de microrganismos (CAMPOS e LAHR, 2004).

Os adesivos sintéticos são classificados em termofixos e termoplásticos. Os adesivos termofixos são convertidos a um estado insolúvel, irreversível, através de reações químicas com ou sem aplicação de calor. Entretanto, os adesivos termoplásticos são adesivos resistentes somente a mudanças físicas, podendo ser modificados pela ação do calor ou solventes, como por exemplo, os adesivos de PVA, PVC e elastômeros (PIZZI e MITTAL, 1994).

Existem adesivos que são definidos como monocomponentes e bicomponentes. Exemplos de monocomponentes são os adesivos à base de pré-polímeros de poliuretanas e silicones que curam com a umidade do ar (resultado da

ativação pela umidade de terminações destes pré-polímeros e subsequente reação de poliadição). Nos adesivos bicomponentes a mistura das partes desencadeia uma reação química (geralmente uma reação de policondensação ou poliadição) que cura o adesivo. Exemplo de bicomponentes são os adesivos epóxi e os adesivos à base de pré-polímeros de poliuretanas (CARNEIRO et al., 2007).

### **3.8.1. Resorcinol-formaldeído**

Dentre os adesivos comercializados, atualmente no Brasil, o adesivo sintético à base de resorcinol é o mais recomendado para colagem de madeiras para uso estrutural, em ambientes internos e externos (PETRAUSKI, 2012).

O adesivo de resorcinol-formaldeído é classificado como termoendurecedor ou termofixo, pois se apresenta com modificações químicas e físicas irreversíveis, que o torna rígido e insolúvel, através de reação de policondensação (PIZZI e MITTAL, 1994). Apesar de garantir uma boa ligação com elevada resistência mecânica e a ação do tempo, da água e da temperatura, tem um custo elevado, chegando a representar cerca de 30% do custo total da madeira laminada colada (TIENNE, 2006). O resorcinol é produzido em poucos locais do mundo, até hoje existem três plantas comerciais que estão nos Estados Unidos, Alemanha e Japão (DUNKY et al., 2002).

Em relação à estrutura química do adesivo de resorcinol-formaldeído, este é quimicamente semelhante ao adesivo de fenol-formaldeído, porém tem um peso molecular maior. A diferença desses adesivos está no anel benzeno do adesivo de resorcinol que apresenta uma hidroxila localizada na posição 1 e outra na posição 3, isto faz com que o adesivo de resorcinol seja de 12 a 15 vezes mais reativo que o adesivo de fenol-formaldeído (SELLERS JR., 1994).

### **3.8.2. Acetato de polivinila (PVA)**

Também conhecido como cola branca o adesivo de acetato de polivinila (PVA) é utilizado para fins não estruturais, em diversos segmentos da indústria moveleira e/ou madeireira, como por exemplo, painéis, laminados plásticos e de madeira (OLIVEIRA e DANTAS, 2003).

O adesivo de PVA além de apresentar baixo custo, pode ser prensado a frio, porém é um adesivo com resistência à umidade menor que os adesivos termofixos, por isso apresenta a limitação de uso externo (CONNER, 2001).

Este adesivo se solidifica principalmente pela perda de água da película adesiva na madeira. Devido à sua natureza polar, ocorre o umedecimento e a penetração do adesivo na madeira (VICK, 1999).

Ao eliminar a água de sua composição, a sua estrutura química se une formando uma linha de cola homogênea e contínua. Portanto, a porosidade da madeira é uma condição para que ocorra a umectação, absorção e penetração do adesivo, proporcionando assim resistência da colagem e elasticidade da junta adesiva (MORAIS, 2008).

O acetato de polivinila apresenta elevada resistência mecânica na linha de cola, aplicação rápida e linhas de cola incolores, além de não emitir formaldeído a atmosfera. A resistência à água e à temperatura é aprimorada pela adição de copolímeros (SELLERS JR., 1994).

### **3.8.3. Silicato de sódio**

Os silicatos são feitos pela fusão de carbonato de sódio e sílica (areia) em um forno similar com o da fabricação de vidro, sendo que a reação ocorre a cerca de 1.400°C. Porém, quimicamente, os silicatos são qualquer combinação entre um óxido de metal alcalino e o silício. A versatilidade desses produtos origina-se basicamente da modificação de suas propriedades, o que possibilita a variação da sua relação molar e da sua forma física (líquido, pó ou granulado). Geralmente, as empresas produtoras oferecem uma grande variedade de tipos de silicatos solúveis, capazes de reunir todas as exigências possíveis de utilização, e a maioria deles é usada na forma de solução (SHREVE, 1980).

Segundo Mendoza (2010) os silicatos apresentam uma combinação única de suas propriedades químicas e físicas, que fazem com que estes produtos químicos inorgânicos sejam os mais versáteis e apresentem diversas aplicações. Os silicatos de sódio atuam como adesivos na indústria de transformação de papel. Suas aplicações são para a produção de tubos, tubetes e embalagens, com potencial de uso no setor de madeira e derivados. Os silicatos de sódio são também usados na fabricação de papelão ondulado, papel cartão e na laminação de papel/alumínio.

A produção de silicatos solúveis iniciou a mais de 100 anos atrás. Com o passar dos anos, muitos progressos foram conquistados na obtenção dos silicatos sintéticos, o que possibilitou melhorias em suas características. Hoje, há uma grande variedade de silicatos solúveis incluindo silicatos de sódio, silicatos de lítio, e silicatos de potássio. Estes produtos tem propriedades e características individuais, permitindo um desempenho otimizado em aplicações particulares (INEOS SILICAS, 2011).

Os adesivos à base de silicatos são produtos de caráter alcalino, que apresentaram grande poder adesivo e secagem rápida. Geralmente, fornecem maior rigidez aos substratos aos quais são adicionados, além de possuírem boa aplicabilidade e alto teor de sólidos. Apresentam-se em forma líquida viscosa, com aspecto variando do incolor ao branco. Silicatos solúveis são praticamente os únicos produtos químicos inorgânicos utilizados como adesivos. São especialmente convenientes, devido a sua excepcional força de adesão e rápida transformação em estado semi-sólido, causada por perdas de água relativamente pequenas (PEREIRA et al., 2009).

Estes adesivos inorgânicos executam mais eficazmente sobre superfícies limpas e hidrofílicas. Assim, os silicatos são capazes de ligação a muitos produtos porosos, como papel, madeira e cimento, e mesmo para muitos substratos não porosos, tais como metais e vidro. A aplicação de silicato de sódio torna-se importante no campo de conversão de papel para a produção de tubos e tambores de fibra. Outra popular aplicação do adesivo de silicato de sódio é selar recipientes de papelão ondulado antes do transporte ou armazenamento (PETRIE, 2003).

Os silicatos exibem um grau moderado de aderência, e a pressão entre os substratos deve ser mantida até que a ligação entre eles aconteça, como consequência da cura do adesivo. Embora o adesivo polimerizado seja, geralmente, resistente a altas temperaturas e ao ataque químico, o mesmo se torna frágil e pouco sensível à água, a não ser se for completamente desidratado ou quimicamente reagido. A resistência à água pode ser melhorada através da reação de silicatos de sódio, com uma variedade de compostos de metais pesados ou ácidos. A adição de açúcar, glicerina, e outros materiais promove a retenção de umidade no filme e aumenta sua flexibilidade, aderência e resistência. Argila e caulim são freqüentemente adicionados para aumentar a viscosidade e evitar a penetração excessiva em substratos porosos (PETRIE, 2003).

Os estudos sobre o adesivo de silicato de sódio para colagem de madeiras ainda são incipientes. Mendoza (2010) avaliando o efeito da inclusão laminar nas propriedades de painéis aglomerados utilizando adesivo de uréia-formaldeído e silicato de sódio, verificou que o adesivo de silicato foi mais hidrofílico do que o adesivo de uréia-formaldeído, não devendo ser utilizado em painéis para uso externo. Segundo a mesma autora os painéis sem inclusão laminar, confeccionados com partículas oriundas de cavacos e maravalhas impregnadas com 8% e 10% de adesivo de silicato de sódio, respectivamente, apresentaram redução nos valores para a propriedade de absorção de água após 24 horas de imersão.

### **3.8.3.1. Silicato-Amido**

O amido é uma das principais reservas de carboidratos dos vegetais. As principais matérias-primas para a extração de amido são a mandioca, a batata, o milho, o trigo e o arroz. Os processos industriais atuais permitem que o amido seja extraído com elevada pureza, apresentando aspecto branco e insípido. Trata-se de matéria-prima renovável e não tóxica (FRANCO, 2001).

O amido é um polissacarídeo composto basicamente por dois tipos de moléculas: amilose e amilopectina. A proporção média encontrada no amido é de 20 a 30% de amilose e de 70 a 80% de amilopectina, quantidades estas que influenciam diretamente nas propriedades do amido. A molécula de amilose pode variar bastante na sua massa molecular dependendo da condição da extração e sua cadeia linear pode conter de 200 a 2000 unidades de glicose. Apresenta forma helicoidal, que confere aos filmes e fibras uma estrutura mais elástica. Devido a sua grande versatilidade o amido é utilizado nos mais variados tipos de indústrias. Com ele é possível modificar as características do cozimento de alimentos, aumentar a estabilidade das pastas ao resfriamento e congelamento, aumentar a transparência das pastas ou géis, melhorar a formação de filmes, aumentar a adesão, adicionar grupamentos hidrofóbicos e conferir poder emulsificante (WENG, 2009).

Na indústria papelreira, o amido tem diversas funções como melhorar a resistência física do papel, auxiliar no refino, melhorar a lisura e a rigidez, aumentar a resistência à penetração de líquidos e evitar a formação de pó. O amido apresenta propriedade adesiva, sendo utilizado como cola em papel adesivo, envelope, papel de parede, etiqueta e papel ondulado. Está presente também em indústrias químicas, de

resinas e plásticos, fármacos, têxtil, agroquímica, tintas e várias outras (FRANCO, 2001).

Na colagem de madeira, geralmente o amido é adicionado aos adesivos para exercer a função de extensor, tendo como objetivo reduzir o custo final do adesivo, prolongar o tempo de montagem, aumentar a viscosidade do adesivo, melhorando as condições de espalhamento e absorção, evitar a redução acentuada da viscosidade do adesivo na fase inicial de aquecimento, minimizando, desta forma, a absorção excessiva pela madeira (IWAKIRI, 2005).

Bessani et al. (2008) prepararam adesivos com amido e hidróxido de sódio em diversas concentrações a temperatura ambiente e realizaram medidas de viscosidade, e, concluíram que a quantidade de NaOH não interferia na viscosidade, mas no tempo de gelatinização, sendo que quanto maior a quantidade de NaOH maior o tempo.

#### **3.8.4. Adesivos Poliuretânicos**

O desenvolvimento comercial dos poliuretanos começou na Alemanha no final dos anos 30, com o uso crescente. Inicialmente o material permitiu a fabricação de espumas rígidas e adesivos. Nas décadas de 40 e 50, surgiram respectivamente os elastômeros e as espumas flexíveis. Durante a década de 60 passou-se a utilizá-los em tintas e vernizes (QUINI, 2011).

No Brasil a pesquisa com o adesivo a base do óleo de mamona teve início em 1983, quando o Grupo de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros (GQATP) iniciaram no Instituto de Física e Química (IFQSC-USP) a pesquisa e desenvolvimento de polióis para poliuretana. O principal objetivo da pesquisa foi desenvolver materiais para aplicações em telecomunicações, especialmente em bloqueio de pressurização de cabos telefônicos, o que permitiu adquirir conhecimento na área de síntese de intermediários para resinas poliuretanas (PU's) (JESUS, 2000).

As poliuretanas são polímeros que possuem monômeros uretanos produzidos pela reação de compostos hidroxilados com isocianatos. Além dos grupos uretanos, as poliuretanas podem ter hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, grupos éster e éter, uréia, amida, entre outros (AZEVEDO, 2009) A polimerização dos uretanos ocorre



quando se reage dois ou mais isocianatos com um álcool polifuncional, ou seja, um polioliol (CANGEMI et al., 2009).

A reação química do poliuretano durante a colagem ocorre em duas fases. Inicialmente, ocorre uma mudança de estado físico de líquido para sólido e o adesivo assume comportamento termoplástico. Posteriormente, o grupo químico isocianato presente no adesivo reage com o grupo hidroxílico (OH) da madeira e com a umidade do ar e da madeira e assim, produz uma estrutura reticular semelhante à de um adesivo termorrígido. Nesta segunda fase, o adesivo assume alta resistência ao calor, frio e solventes (GARCIA e RECH, 2011).

Os adesivos poliuretanos apresentam um bom desempenho, pois formam ligações de hidrogênio com alguns substratos, e, devido à sua baixa viscosidade, penetram nos poros de substratos e formam ligações covalentes com substratos que tenham hidrogênio ativo (SEBENIK e KRAJNC, 2007).

As poliuretanas são únicas na sua versatilidade devido ao entrecruzamento, a flexibilidade das cadeias e também as forças intermoleculares. Podem ser largamente variados, obtendo-se estruturas que variam de lineares e flexíveis a rígidas altamente entrecruzadas. Quando se usam reagentes difuncionais, são produzidas poliuretanas lineares. Se a funcionalidade do composto dihidroxilado ou do isocianato for aumentada para três ou mais, são formados polímeros ramificados ou entrecruzados. A reação é exotérmica e sua velocidade depende tanto da estrutura do isocianato como do polioliol (AZEVEDO, 2009).

De acordo com o fim a que se destina, o óleo de mamona pode apresentar valores diferentes em relação à sua acidez, umidade, entre outros índices. Esta diferença é em decorrência do tipo de prensagem, condicionamento do óleo, tratamento e métodos de purificação empregados. A característica mais importante é a presença dos três sítios distintos para a preparação dos mais variados produtos industriais. Suas principais características como matéria-prima industrial, é sua excepcional estabilidade química e sua facilidade em não oxidar. Para as reações uretanas, o óleo de mamona pode ser utilizado “in natura”, onde deve ter um ótimo padrão de pureza, baixa acidez e técnicas de controle de qualidade específicas. O óleo de mamona também pode ser utilizado diretamente como matéria-prima para a obtenção de outros polióis (ARAÚJO, 1992).

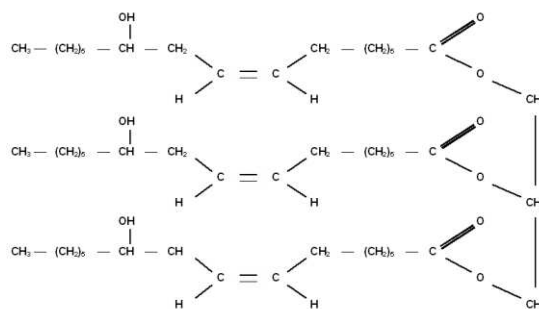
Modificações importantes nas propriedades mecânicas dos elastômeros poliuretanos podem ser introduzidas por meio de ligações cruzadas. Estas ligações

são formadas pela reação dos grupos isocianatos residuais com grupamentos uréia e uretano, formando ligações cruzadas biureto e alofanato. As ligações cruzadas também podem ser formadas pela utilização de compostos hidroxilados ou amínicos, tri ou polifuncionais (LIMA, 2001).

Existem duas rotas básicas para se obter um adesivo poliuretano. A primeira resulta na preparação das poliuretanas monocomponentes, onde é apresentado o bloqueio linear destacando-se na estrutura básica os três tipos de intermediários de síntese: o poliól, di-isocianatos e extensores de cadeia. Esta rota de processo, em uma única etapa, resulta em um monocomponente ou como também é conhecido “oneshot”. A segunda rota de preparação leva a uma resina poliuretana bicomponente. A partir desta rota, obtém-se um polímero onde a polimerização está incompleta, que pode ser denominado de pré-polímero. Este pré-polímero quando misturado estequiometricamente a um poliól resulta em um poliuretano. Assim, propriedades do polímero como a flexibilidade, a rigidez, interpenetração de segmentos, força inter-cadeia e entrecruzamento molecular são explicadas a partir do balanceamento e das características químicas do poliól empregado na reação final com o pré-polímero (JESUS, 2000).

#### **3.8.4.1. Poliól**

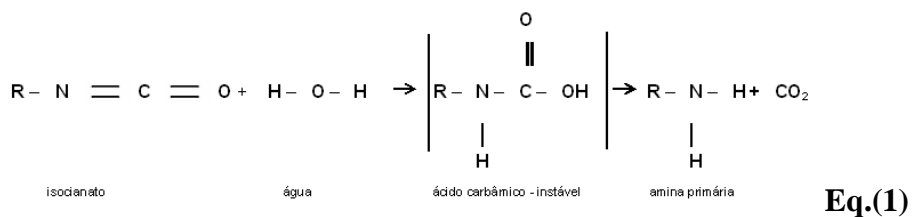
O óleo obtido da mamona é um triglicerídeo natural não comestível. Sua estrutura é apresentada na Figura 3. É composto de 89% de triglicerídeo do ácido 12-hidroxioléico (ou ácido recinoléico). São três os sítios de ataque químico que conferem ao óleo de mamona a excepcional versatilidade como matéria prima oleoquímica. Esta versatilidade, aliada ao fato de ser, provavelmente, o único produto natural com pureza próxima a da analítica, torna o óleo de mamona um produto ímpar do ponto de vista tecnológico (ARAÚJO, 1992).



**Figura 3.** Triglicéride do ácido ricinoleico. (ARAÚJO, 1992).

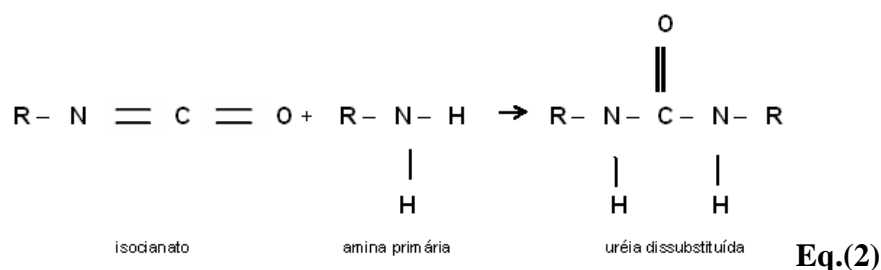
Segundo Claro Neto (1997) como o pré-polímero possui em sua estrutura isocianatos livres, podem ocorrer reações químicas, paralelas, durante o processo de polimerização, como as que ocorrem com a água, resultando em uma amina primária.

- Reação do isocianato com H<sub>2</sub>O



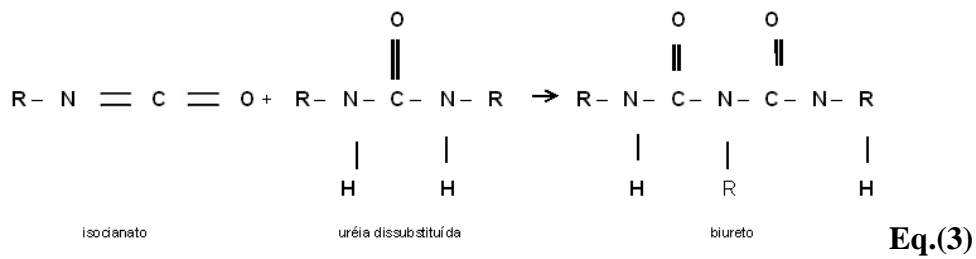
A amina primária, por sua vez, pode reagir com o isocianato, tendo por resultado a uréia dissubstituída.

- Reação do isocianato com a amina primária



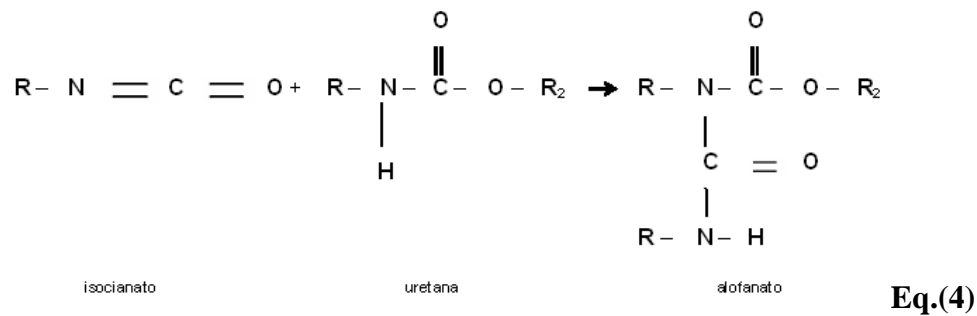
O isocianato poderá, então, reagir com a uréia dissubstituída resultando no biureto.

- Reação do isocianato com a uréia dissubstituída



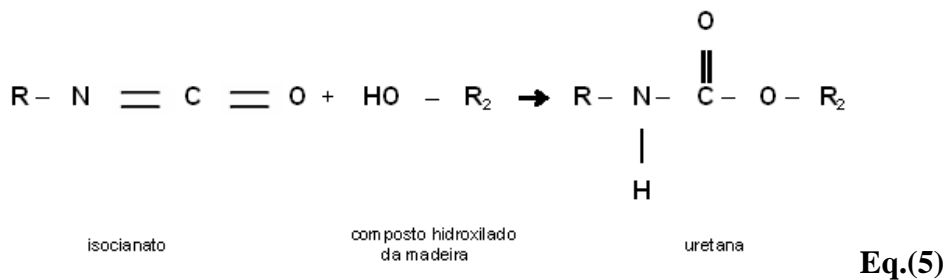
Além das reações anteriores, podem ocorrer, ainda, reações entre o isocianato e a ligação uretana, ficando evidentes, o aumento do entrecruzamento e a rigidez das cadeias formadas.

- Reações do isocianato com ligação uretana



Segundo CLARO NETO (1997), a equação 5 abaixo, explica como o adesivo se liga quimicamente com a madeira.

- Reações do isocianato com hidroxilas dos componentes da madeira



Até hoje muitos trabalhos foram realizados para avaliar a aplicabilidade e resistência do adesivo a base do óleo de mamona em diversos usos, como em painéis de madeira, madeira sólida, na medicina, etc.

Araújo (1992) conduziu uma série de ensaios para determinar as características das várias composições de resinas poliuretanas, baseadas no óleo de mamona. Através dos resultados obtidos, verificou-se que até a temperatura de 220°C, as resinas têm estabilidade térmica e possuem boa resistência mecânica.

Jesus (2000) estudando o adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC) verificou em seu trabalho que o comportamento do adesivo poliuretano mostrou-se perfeitamente adequado, tornando-se alternativa tecnicamente viável.

Sturion (2004) utilizou o polímero de mamona na forma adesiva para a impermeabilização de lesões podais de causas diversas, em bovinos e concluíram que o adesivo possibilitou a perfeita reconstituição de falhas ou perdas de segmento do casco.

Morais (2008) analisando a viabilidade do desempenho do adesivo bicomponente de mamona na produção de painéis compensados de *Pinus* sp. concluiu que o adesivo bicomponente apresentou potencial para a produção dos painéis compensados, tornando possível a substituição dos adesivos comerciais pelo adesivo de mamona.

Petrauski (2012) estudando pórticos de madeira laminada colada de eucalipto, utilizando adesivos à base de resorcinol e óleo de mamona, verificou que a proporção entre os componentes isocianato e polioliol, para a obtenção da resistência máxima, aumentou com o aumento da pressão de colagem. Segundo a mesma autora o adesivo de mamona apresentou desempenho estrutural satisfatório.

Silva et al. (2013) avaliando a viabilidade da produção de painéis MDF fabricados com madeiras das espécies *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis* e adesivos poliuretanos mono e bicomponente derivados do óleo de mamona concluíram que o adesivo poliuretano monocomponente com *Pinus caribae* conduziu melhores resultados das propriedades físicas e mecânicas.

Cavalca (2014) utilizou o adesivo poliuretano de mamona, em pacientes com casos iniciais de artrose, desgaste da articulação, como em casos de doenças que levam a degeneração articular verificando que houve resultados satisfatórios de recuperação biomecânica dos pacientes.

É cada vez mais crescente a conscientização em se utilizar polímeros que não agridam o meio ambiente e não seja tóxico à saúde. O estudo e desenvolvimento de pesquisas voltadas para a produção de adesivos derivados da biomassa se fazem necessário, como o poliuretano do óleo de mamona (AZEVEDO, 2009).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nos Laboratórios de Painéis e Energia da Madeira, e Propriedades da Madeira, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Estado de Minas Gerais.

Foram utilizadas as madeiras de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. provenientes da região de Viçosa-MG e do comércio local, respectivamente. As madeiras foram obtidas em forma de tábuas, que foram transformadas em lâminas de 40 cm de comprimento x 10 cm de largura x 0,6 cm de espessura. As lâminas foram secas em estufa até atingirem 12% de umidade para posterior colagem. Determinou-se a densidade básica das madeiras utilizando o método de imersão em água, segundo a norma NBR 11941-02 (ABNT, 2003).

Foram utilizados cinco adesivos: resorcinol-formaldeído, poliuretano bicomponente a base do óleo de mamona, silicato de sódio, PVA (Acetato de polivinila) e silicato amido modificado.

Os adesivos de resorcinol-formaldeído e mamona foram fornecidos pelas indústrias Momentive Química do Brasil LTDA e pela KEHL Indústria e Comércio LTDA, respectivamente. Os adesivos de silicato de sódio e silicato amido modificado foram fornecidos pela indústria Tubominas LTDA. O adesivo de PVA foi adquirido no comércio local.

### 4.1. Propriedades dos adesivos

#### 4.1.1 Viscosidade

Foram determinadas as viscosidades dos adesivos de acordo com a norma americana ASTM D 1084-97 (método B). Utilizou-se um viscosímetro de Brookfield (cp), com haste (spindler) número 3, velocidade de 12 rpm e fator de conversão 100, em amostras de aproximadamente 300 mL, em três repetições, para cada adesivo. O adesivo de resorcinol-formaldeído foi utilizado na proporção 5:1 (resorcinol/endurecedor), e o adesivo de mamona na proporção 1,5:1 (poliol/endurecedor).

#### **4.1.2 Teor de sólidos**

O teor de sólidos dos adesivos foi obtido de acordo com Carneiro (2006), evaporando-se a água das amostras contendo 1g de adesivo, que foram levados à estufa a  $103^{\circ} \pm 2^{\circ}$  C até atingir peso constante.

#### **4.1.3 Tempo de trabalho**

Determinou-se o tempo de trabalho para os adesivos bicomponentes a base de resorcinol e a base do óleo de mamona. O tempo de trabalho dos adesivos foi determinado com auxílio de um cronômetro, acionado após a adição de agente endurecedor; para cada amostra, o tempo foi obtido até o endurecimento (cura) dos adesivos, em três repetições.

#### **4.1.4 pH**

Para a determinação do pH dos adesivos de silicato de sódio, silicato modificado, PVA e resorcinol-formaldeído foi utilizado cerca de 20g dos adesivos, em três repetições e as leituras foram feitas em pHmetro digital. A determinação do pH para o adesivo de mamona foi feita utilizando papel indicador universal de pH (0-14) na forma de fita com graduação de 1, com três repetições, ressalta-se que a medição foi feita após a mistura do polioliol e isocianato (1,5:1).

#### **4.2. Determinação do ângulo de contato**

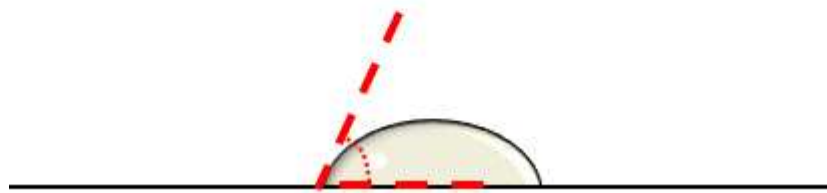
A medição do ângulo de contato dos adesivos foi realizada em ambiente com temperatura de  $22 \pm 2^{\circ}$ C e  $65 \pm 5\%$  de umidade relativa. Para o adesivo bicomponente de mamona foi utilizada a proporção de mistura 1,5:1 (polioliol/endurecedor). Para o adesivo de resorcinol-formaldeído utilizou-se a proporção de mistura 5:1 (resorcinol/endurecedor).

Para realização do teste, depositou-se uma gota de adesivo de aproximadamente 35  $\mu$ L sobre a superfície das madeiras de pinus e eucalipto, utilizando-se uma seringa com capacidade de 1 mL e graduada em intervalos de 10  $\mu$ L, que foi posicionada a uma altura fixa de 8 mm. Quando depositada a primeira



gota acionou-se o cronômetro, sendo retiradas as fotografias de perfil da gota nos tempos de 10, 30, 60, 90 e 120 segundos. O procedimento foi repetido 10 vezes para cada tratamento. Para obtenção das imagens foi utilizado o software *Pixelinkcapture*, que dispunha de uma câmera *Pixelink*, modelo PL-A662, acoplada a uma lupa estereoscópica *ZEISS Stemi 2000-C*, com aumento de 35 vezes. As fotografias tinham as dimensões de 1280 (H) x 1024 (V) *pixels*.

Depois de obtidas as fotografias, determinou-se o ângulo de contato entre o adesivo e a superfície da madeira (Figura 3), utilizando-se o software *AxioVision*.



**Figura 3.** Esquema para a medição do ângulo de contato.

### **4.3. Caracterização das espécies**

#### **4.3.1. pH e capacidade tampão das madeiras**

Para a análise de pH das madeiras, utilizaram-se amostras de eucalipto e pinus que, primeiramente, foram transformadas em palitos e, posteriormente, moídas em moinho tipo Wiley para a obtenção da serragem, classificadas nas peneiras de 40/60 mesh. Foram pesadas 15 gramas das amostras de eucalipto e pinus em três repetições cada. Para cada amostra foram colocadas 150 ml de água fervente, deixando esfriar e posteriormente as amostras foram levadas ao banho-maria a 23°C por 30 minutos. Logo após as amostras foram filtradas obtendo-se os extratos retirando-se de cada uma alíquota de 50 ml. O pHmetro foi calibrado para 4 e 7 utilizando-se soluções tampões padronizadas. Após a calibração, o pH inicial das amostras foi determinado e, posteriormente, os extratos foram titulados com solução

de NaOH 0,0243N até pH 7 para a determinação da capacidade tampão ácida em mmol/L.

#### **4.3.2. Análise química**

Para a análise química, utilizaram-se amostras de madeiras de eucalipto e pinus que, primeiramente, foram transformadas em palitos e, posteriormente, moídas em moinho tipo Wiley para a obtenção da serragem, conforme a norma TAPPI T 257 om-92 (1992). As análises químicas foram efetuadas na fração de serragem classificadas nas peneiras de 40/60 mesh. O material foi armazenado em frascos de vidro e condicionado a uma umidade relativa de  $50 \pm 2\%$  e temperatura de  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , para posterior quantificação do teor de extrativos totais, teor de lignina total e teor de holoceluloses.

O teor de extrativos na madeira foi determinado, segundo a norma TAPPI T 204 cm-97 (1997), utilizando a mistura álcool/tolueno (1:2). Obteve-se o teor de extrativos em álcool/tolueno por diferença de massa nas amostras de serragem antes e após as extrações em água fria e quente.

O teor de lignina (Klason) foi determinado de acordo com os procedimentos descritos por Gomide e Demuner (1986). A lignina solúvel em ácido foi determinada a partir do filtrado resultante da análise da lignina Klason, pela leitura em espectrofotômetro, de acordo com Goldschimid (1971). O teor de lignina total foi obtido pela soma da lignina residual mais a lignina solúvel em ácido.

A determinação do teor de holoceluloses foi estimada por diferença, da seguinte forma: Holoceluloses (%) =  $100 - (\% \text{ Extrativos} + \% \text{ Lignina})$ .

#### **4.3.3. Análise anatômica**

Para a maceração das fibras, foram retiradas amostras das regiões de cerne e alborno das madeiras de eucalipto e pinus, as quais foram transformadas em palitos e colocadas em tubo de ensaio com solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio, segundo o método descrito por Dadswell (1972). Após a individualização das fibras, montaram-se lâminas temporárias e mediram-se trinta fibras, individualmente. Para as medições da largura e diâmetro do lume das fibras,

utilizou-se um microscópio óptico com um sistema de captura de imagens com o auxílio do software Axio-Vision.

Foram feitos cortes anatômicos em micrótomo das madeiras de pinus e eucalipto, nos três planos de observação (transversal, tangencial e radial), montagem de lâminas permanentes, de acordo com as normas Copant (1974), para posterior visualização em microscópio óptico. Foram feitas medições do diâmetro e frequência dos vasos para a madeira de eucalipto. Posteriormente foi feita a descrição anatômica qualitativa das madeiras.

#### **4.4. Colagem e avaliação da resistência ao cisalhamento das juntas coladas**

A escolha das lâminas de pinus e eucalipto foi feita considerando-se a sua massa, isenção de defeitos e limpeza. A limpeza das lâminas foi feita com auxílio de uma lixa que foi passada levemente na superfície da madeira para retirada de resíduos, e de um pincel, para retirada do pó da madeira. A prensagem das juntas de madeira coladas com os adesivos de cura a frio foi realizada em prensa manual utilizando torquímetro calibrado com pressão de 12 kgf/cm<sup>2</sup> para o fechamento dos parafusos. A prensa dispunha de três pares de barras rosqueadas em aço para viabilizar a aplicação da pressão de colagem.

Foram utilizadas três gramaturas iguais a 150, 200 e 250 g/m<sup>2</sup> e o controle da quantidade de adesivo foi feito utilizando uma balança. O espalhamento do adesivo foi feito nas duas faces das lâminas, com auxílio de um pincel. Considerou-se tempo de montagem em aberto de aproximadamente 5 minutos para todos os adesivos, exceto para o poliuretano de mamona. O tempo em fechado para todos os adesivos foi igual a 10 minutos. Posteriormente, as juntas coladas foram levadas à prensa manual, por um período de 24 horas. Depois de prensadas, as juntas coladas foram condicionadas a temperatura ambiente, até alcançarem a umidade de equilíbrio ( $\pm 12\%$ ). Foram produzidas 270 juntas coladas, sendo 2 espécies, 5 adesivos e 3 gramaturas, com 9 repetições para cada tratamento.

Para a determinação da resistência da linha de cola ao cisalhamento e a porcentagem de falha na madeira, as amostras foram seccionadas de acordo com a norma ASTM D-2339/93. Foram obtidos 12 corpos de prova para cada repetição por tratamento, correspondendo a 108 corpos de prova que foram condicionados a temperatura de  $23 \pm 1^\circ \text{C}$  e umidade relativa de  $50 \pm 2\%$ . Após atingirem a umidade

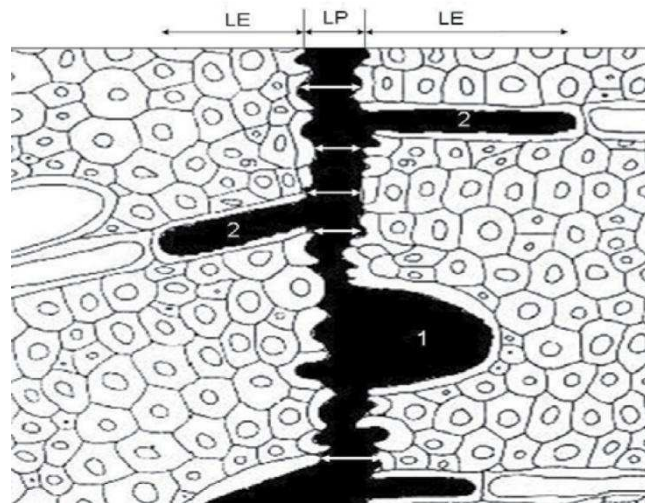
de equilíbrio higroscópico, a resistência ao cisalhamento e a falha na madeira foram determinadas, nas condições seca e úmida. Foram ensaiados doze corpos-de-prova, sendo nove na condição seca e três na condição úmida. Cada corpo de prova teve sua área de cisalhamento medida, com auxílio de um paquímetro. Para a condição úmida, a medição ocorreu antes da imersão dos corpos de prova em água a  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  por 24 horas. A determinação da qualidade das juntas coladas, através do ensaio de cisalhamento em condição úmida, foi feita de acordo com a norma ABNT NBR ISSO 12466-1: 2006 e os percentuais de falha na madeira foram mensurados com o auxílio de lâminas transparentes quadriculadas, com suas respectivas áreas delimitadas em porcentagem.

#### **4.5. Estudos da interface madeira-adesivo**

##### **4.5.1. Determinação da espessura da linha de cola através da Microscopia óptica**

Para o estudo da interface madeira-adesivo foram retiradas duas amostras de cada junta colada de pinus e eucalipto por tratamento. Para as amostras coladas com os adesivos de resorcinol-formaldeído e poliuretano bicomponente de mamona, foi retirado um cubo central de 0,5 cm de lado. As amostras foram fervidas em água para facilitar o corte no micrótomo. Depois realizou-se o seccionamento das amostras em micrótomo de deslizamento modelo LEICA SM 200 R, com espessura de 20  $\mu\text{m}$  micrômetros, utilizando uma navalha tipo LEICA 22 cm. Foram feitas duas lâminas permanentes de cada amostra contendo cortes da face transversal. Para as amostras coladas com os adesivos de acetato de polivinila, silicato de sódio e silicato modificado, foram utilizadas duas amostras de cada junta colada, sendo estas levadas ao micrótomo e seccionadas a seco com espessura de 25  $\mu\text{m}$  e 40  $\mu\text{m}$  micrômetros, para eucalipto e pinus, respectivamente. Foram feitas duas lâminas temporárias de cada amostra contendo cortes da face transversal. As imagens das lâminas temporárias e permanentes foram obtidas com auxílio de um microscópio óptico com um sistema de captura de imagens utilizando o software Axio-Vision,. Para a obtenção da espessura média ( $\mu\text{m}$ ) da linha de cola principal, foram realizadas 40 medições. Cada medição foi feita de uma extremidade a outra na largura da linha de

cola principal, não sendo considerada a penetração do adesivo nas estruturas anatômicas da madeira (Figura 4).



**Figura 4.** Esquema da mensuração da espessura da linha de cola. LP: linha de cola principal; LE: linha de cola estendida; 1: vaso preenchido com adesivo; 2: raios preenchidos com adesivo. As setas indicam onde foi mensurado a espessura da linha de cola. Adaptado de Tsoumis (1991).

#### 4.5.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para a avaliação da interface madeira-adesivo através da microscopia eletrônica de varredura, foram feitos cortes a seco com espessura de 20  $\mu\text{m}$  micrômetros da região longitudinal da madeira. Para cada microanálise foi retirada uma amostra das juntas coladas em função dos tratamentos (tipo de madeira, adesivo, gramatura).

As amostras secas foram fixadas em suportes de alumínio, *stubs*, com cola de carbono. Em seguida, foram metalizadas com ouro, durante 2 minutos, em um metalizador *Electron Microscopy Sciences* Modelo 550X, a vácuo com argônio. Para a visualização, foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura, marca LEO *Elektonen Mikroskopie*, modelo 1430 VP, a vácuo com nitrogênio.

As imagens da interface madeira-adesivo foram amplificadas em 50, 70 e 400 vezes.

#### **4.6. Delineamento experimental**

O experimento foi instalado segundo um fatorial completo com 2 espécies (pinus e eucalipto), 5 tipos de adesivos (resorcinol-formaldeído, bicomponente de mamona, acetato de polivinila, silicato de sódio e silicato amido modificado), 3 gramaturas (150, 200 e 250 g/m<sup>2</sup>), totalizando 30 tratamentos, em 9 repetições. Inicialmente, os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Cochran para testar a normalidade e homogeneidade das variâncias, respectivamente. Depois, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e quando estabelecidas diferenças significativas, os tratamentos foram comparados entre si, pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade.

Os valores de composição química da madeira, espessura da linha de cola e ângulo de contato, foram submetidos aos testes de Lilliefors e Cochran para testar a normalidade e homogeneidade das variâncias, respectivamente. Depois, procedeu-se à análise de variância observando-se efeitos significativos, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey. Para a variável densidade básica da madeira utilizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, por esta não apresentar homogeneidade de variância. Considerou-se sempre o nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa STATISTICA 7.0.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Propriedades dos adesivos

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das propriedades dos adesivos utilizados na colagem das madeiras de eucalipto e pinus.

**Tabela 1-** Valores médios das propriedades dos adesivos.

Propriedades dos adesivos	Adesivos				
	PVA	Silicato de sódio	Resorcinol	Mamona	Silicato modificado
Viscosidade (cp)	9430	287	1963	3134	1070
Teor de sólidos (%)	45	54	70	91	63
pH	4	12	8	6	8
Tempo de trabalho (minutos)	ND	ND	120	37	ND

ND: Não determinado (monocomponente).

Verificou-se que os adesivos de silicato de sódio e silicato modificado apresentaram os menores valores médios de viscosidade (Tabela 1). Adesivos com baixa viscosidade resultam em melhor espalhamento sobre a superfície da madeira, devido à alta fluidez, contribuindo para a maior penetração do adesivo e sua absorção pela madeira e, em situação extrema poderá resultar em linha de cola “faminta”, ou seja, com quantidade insuficiente de adesivo na linha de cola. Mendoza (2010) avaliando o efeito da inclusão laminar nas propriedades de painéis aglomerados, encontrou para o adesivo de silicato de sódio, viscosidade correspondente a 750 cp, sendo superior ao valor encontrado neste trabalho.

O adesivo de PVA apresentou a maior viscosidade média, o que lhe conferiu maior dificuldade de espalhamento devido à baixa fluidez. Lima et al. (2008) estudando a madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais, verificaram que a viscosidade do adesivo de PVA fornecida pelo fabricante variou entre 10000 a 16000 cp. A viscosidade encontrada neste trabalho para o adesivo de PVA foi inferior ao valor obtido pelos autores.

Zangiácomo (2003) estudando espécies tropicais alternativas na produção de elementos de madeira laminada colada constatou que o adesivo de resorcinol

apresentou melhores resultados, por ser menos viscoso que o adesivo a base de mamona. Neste trabalho a viscosidade do adesivo de mamona também foi maior do que aquela obtida para o adesivo a base de resorcinol.

Lima et al. (2008) encontraram para o adesivo resorcinol-formaldeído viscosidade correspondente a 2127 cp. O valor de viscosidade encontrado neste trabalho para o adesivo resorcinol, foi inferior ao obtido pelos autores.

Para o teor de sólidos, os valores médios obtidos para os adesivos resorcinol e PVA, foram iguais a 70 e 45%, respectivamente (Tabela 1). Marcati e Della Lucia (1996) estudando o comportamento do angico-vermelho à adesão com PVA e resorcinol, encontraram teor de sólidos para resorcinol e PVA iguais a 52,06 e 48,56%, respectivamente. Observou-se, ainda, que o adesivo à base de mamona apresentou o maior valor para o teor de sólidos. Vale salientar que o teor de sólidos é uma propriedade importante e pode ser entendido como a parte do adesivo que forma a linha de cola. O alto teor de sólidos contribui para a qualidade da linha de cola, devido a maior quantidade de material sólido, melhorando a adesão entre a madeira e o adesivo.

Em se tratando de colagem de madeiras é importante considerar a influência do pH tanto da madeira como do adesivo. O pH da madeira varia conforme a espécie e situa-se na faixa de 3 a 6. O adesivo não deve ter os limites de pH ultrapassando a faixa de 2,5 a 11, pois podem resultar em degradação das fibras de madeira. Verifica-se que os adesivos de silicato de sódio e PVA, apresentaram o maior e menor valor médio de pH, respectivamente.

O tempo de trabalho se refere ao tempo de vida útil do adesivo, após sua preparação, até a fase de gel, quando atinge a máxima viscosidade. Verificou-se que o adesivo à base de mamona apresentou tempo de trabalho igual a 37 minutos (Tabela 1). As proporções entre o polioliol e endurecedor (isocianato), determinam a rigidez ou elasticidade da linha de cola formada, e irão facilitar ou dificultar o espalhamento do adesivo na madeira. Um excesso de isocianato leva à obtenção de uma linha de cola mais rígida, enquanto um excesso de polioliol resulta em linha de cola mais elástica (VILAR, 2002). Este fato está diretamente ligado ao tempo de trabalho do adesivo, ou seja, a viabilidade de se trabalhar com o adesivo, antes de sua polimerização ou cura. Observou-se que o adesivo a base de mamona apresentou tempo de trabalho reduzido, ou seja, a reação de polimerização entre o polioliol e



endurecedor foi rápida, o que dificultou o espalhamento e fluidez do adesivo na madeira durante o processo de colagem.

Jesus (2000) utilizando o adesivo a base de óleo de mamona, na proporção em massa 1:1, observou que, em função do aumento da viscosidade, o tempo de trabalho da mistura foi de 20 minutos. Para o adesivo resorcinol-formaldeído foi encontrado tempo de trabalho igual a 120 minutos, sendo este superior ao adesivo de mamona.

## 5.2. Propriedades das madeiras

Na Tabela 2 estão os valores médios da densidade básica e composição química das madeiras de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp..

**Tabela 2-** Densidade básica e composição química das madeiras de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp..

Espécie	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	Extrativos (%)	Lignina Total (%)	Holocelulose (%)
<i>Eucalyptus</i> sp.	0,67 <sup>a</sup>	7,84 a	34,46 a	57,71 b
<i>Pinus</i> sp.	0,45 <sup>b</sup>	5,52 b	31,35 b	63,13 a

Espécies com médias seguidas de mesmas letras, para uma mesma variável, não diferem entre si ( $\alpha = 0,05$ ) pelo teste Tukey.

Em relação à colagem da madeira, a densidade se relaciona com a permeabilidade, que influenciam na penetração dos adesivos na madeira (IWAKIRI, 1998).

A menor densidade da madeira de pinus em relação à madeira de eucalipto facilita a penetração do adesivo na madeira, podendo em alguns casos, se o adesivo for pouco viscoso, resultar em linha de cola faminta. Aparecida de Sá et al. (2010) estudando a absorção de superfície de painéis compensados, encontraram densidade básicas para as madeiras de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. iguais a 0,56 g/cm<sup>3</sup> e 0,36 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Plaster et al. (2008) avaliando juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus* sp. verificaram dificuldade na adesão de madeiras de maiores densidades. Segundo os autores a madeira de alta densidade apresenta menor penetração do adesivo, bem como uma perda maior do adesivo pelas bordas da peça a ser colada, ocasionando uma linha de cola menos eficaz.

Para a composição química das madeiras, verificou-se que o teor de extrativos na madeira de *Eucalyptus* sp. foi maior em relação à madeira de *Pinus* sp. (Tabela 2). O gênero *Eucalyptus* caracteriza-se por um elevado número de espécies, com predomínio daquelas de difícil colagem, sobretudo aquelas de elevadas massas específicas aparentes e teores de extrativos elevados (PLASTER et al., 2008). Neste trabalho não foi determinado o tipo de extrativos presentes nas madeiras de eucalipto e pinus, apenas o percentual de extrativos totais, apesar de poder existir algum outro elemento presente nos extrativos remanescentes, que mesmo em pequenas concentrações possa interferir no processo de colagem da madeira.

Na dependência da quantidade e do tipo de extrativo presente na madeira, pode ocorrer uma interferência nas reações de polimerização do adesivo ou uma reação entre o adesivo e o extrativo. De modo geral, madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem (JANKOWSKY, 1988).

Albino et al (2012) avaliando a influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* na qualidade da colagem verificaram que o teor de extrativos na região da medula e no topo da tora foram iguais a 6,10% e 7,98%, respectivamente. Segundo os mesmos autores como o processo de colagem da madeira foi feito a frio (temperatura ambiente) a migração dos extrativos para a superfície da madeira não pode ter ocorrido. Segundo Marra (1992), quando ocorre a migração dos extrativos, pode acontecer a inativação da superfície, prejudicando o contato adesivo-madeira.

Os adesivos utilizados para a colagem da madeira, na sua maioria, usam a água como carreador, gerando problemas de umedecimento, fluxo e penetração na superfície coberta pelos extrativos. Outra influência do extrativo se dá na alteração do pH da superfície da madeira (ALBINO et al., 2012).

Lima et al. (2007) estudando as características anatômicas e químicas da madeira de dois clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem, encontraram valores médios de extrativos iguais a 5,54% e 4,79%.

O teor de lignina total da madeira de *Eucalyptus sp.* encontrado neste trabalho foi superior ao obtido por Zanuncio et al. (2013), quando estudaram a composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste e obtiveram teores médios de lignina total variando de 30,7% (sem desbaste) a 33,1% (50% de desbaste).

Em relação ao teor médio de holocelulose, observou-se que houve diferença significativa entre as madeiras de eucalipto e pinus, sendo que a madeira de pinus apresentou o maior teor de holocelulose (Tabela 2). Quanto maior o teor de holocelulose, maior a higroscopicidade da madeira, uma vez que a celulose e a hemicelulose são as maiores responsáveis por essa propriedade (SKAAR, 1972).

Segundo Troughton (1969) citado por Moreira (1985) uma provável ligação covalente entre adesivos, contendo formaldeído e a celulose e lignina, promoveria a adesão da madeira. Tais ligações ocorreriam por pontes de oximetileno, formadas pela condensação do grupo metilol do adesivo com hidroxilas alifáticas da celulose ou lignina. Este fato está de acordo com Morais (1992) que afirma que as hidroxilas têm papel importante em relação às propriedades adesivas. Em amido e celulose, a presença de três hidroxilas livres em cada molécula de glicose é responsável pela sua alta polaridade e reatividade.

### 5.2.1. Capacidade tampão e pH

A Tabela 3 apresenta os valores médios de pH e da capacidade tampão ácida para as madeiras de eucalipto e pinus.

Tabela 3- Valores médios de pH e capacidade tampão ácida para as madeiras de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.*.

<b>Espécie</b>	<b>pH inicial</b>	<b>Capacidade tampão (mmol/L)</b>	<b>pH final</b>
<i>Eucalyptus sp.</i>	3,97	0,123	7
<i>Pinus sp.</i>	5,12	0,041	7

Verificou-se que o pH da madeira de *Eucalyptus sp.* foi menor em relação à madeira de *Pinus sp.*. A madeira de folhosa é mais ácida que a madeira de conífera devido a maior proporção de hemiceluloses as quais são formadas por uma cadeia

principal de xilanas (hemiceluloses também chamadas por pentosanas). As xilanas são polissacarídeos formados por unidade de xilose conectadas entre si pelos carbonos 1 e 4, através de ligações beta. Nas folhosas, a cadeia de xilana apresenta, em intervalos irregulares, grupos de ácido 4-O-metilglucorônico conectados a unidades de xilose, através de ligações glucosídicas alfa (1-2) (D'ALMEIDA, 1988).

Almeida (2009) estudando o efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá encontrou para *Pinus elliottii* valores de pH e capacidade tampão iguais a 3,51 e 0,547 mmol/L para a extração a quente no tempo de 20 minutos.

A capacidade tampão da madeira mostra a capacidade que a mesma apresenta para resistir à variação de pH do meio. O valor do pH da madeira, assim como a capacidade tampão variaram de acordo com a espécie, sendo que a madeira de pinus apresentou menor valor para capacidade tampão.

### **5.3. Descrição anatômica qualitativa**

#### **5.3.1. *Eucalyptus* sp.**

Anéis de crescimento: indistintos.

Vasos: porosidade difusa, arranjo diagonal e formato circular a oval. São predominantemente solitários com rara ocorrência de geminados. A placa de perfuração é simples. Há presença de tilos nos vasos.

Fibras: são do tipo libriformes, não septadas, com pontuações simples.

Parênquima axial: predomina parênquima axial paratraqueal confluyente e há ocorrência de vasicêntrico e em faixas.

Raios: presença de raios unisseriados com rara ocorrência de bisseriados. Raios formados por células procumbentes no seu interior e de células marginais com formato procumbente tendendo a quadrado.

#### **5.3.2. *Pinus* sp.**

Traqueídes longitudinais: no lenho inicial apresentam um formato hexagonal e no lenho tardio estes são circulares.

Plano radial: no campo de cruzamento as células do parênquima radial apresentam pontuações do tipo pinóide. As pontuações areoladas nas paredes radiais dos traqueídeos são predominantemente unisseriadas. Parênquima radial unisseriado fusiforme, com canal de resina radial.

Parênquima axial ausente, canais de resina axiais presentes no lenho tardio.

#### 5.4. Caracterização anatômica quantitativa

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios da frequência e diâmetro dos vasos para o *Eucalyptus* sp.

Tabela 3: Valores médios referentes à frequência e diâmetro dos vasos de *Eucalyptus* sp.

<i>Eucalyptus</i> sp.	Vasos	
	Frequência dos vasos (mm <sup>2</sup> )	Diâmetro (µm)
Média	9,1	136,19
Desvio padrão	1,3	15,08
CV	14,7	11,08

Verificou-se que o valor médio encontrado para o diâmetro dos vasos foi igual a 136,19 µm.

Albino et al. (2012) estudando a influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* na qualidade da colagem, encontraram diâmetros dos vasos nas regiões da medula, intermediária e casca iguais a 155,85; 167,93 e 191,55 µm, respectivamente.

Foi encontrado frequência média de vasos para *Eucalyptus* sp. igual a 9,1 vasos/mm<sup>2</sup>. Ressalta-se que quanto maior a frequência de vasos associada ao seu maior diâmetro, maior será a absorção do adesivo na madeira, o que pode contribuir para melhor adesão entre as juntas coladas. Durante a colagem de peças de madeira, a quantidade e a distribuição dos vasos na madeira influencia na sua habilidade para absorver água e outros solventes dos adesivos, assim como na área de adsorção dos adesivos pela madeira (PIZZI e MITTAL, 1994).

Lima et al. (2007) estudaram a influência das características anatômicas sobre a qualidade de colagem de clones de eucalipto e encontraram que a frequência de vasos, frequência e largura dos raios influenciaram na colagem da madeira em relação à resistência ao cisalhamento. Os autores verificaram que o diâmetro do vaso influenciou a porcentagem de falhas na madeira.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação das fibras de *Eucalyptus* sp. e dos traqueídes de *Pinus* sp..

Tabela 4: Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação das fibras de *Eucalyptus* sp. e traqueídes de *Pinus* sp..

<b>Fibra (cerne)</b>			
<i>Eucalyptus</i> sp.	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)
Média	17,48	6,39	5,55
Desvio padrão	3,30	2,50	1,44
CV	18,91	39,21	26,05
<b>Fibra (alburno)</b>			
<i>Eucalyptus</i> sp.	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)
Média	17,41	8,89	4,26
Desvio padrão	3,00	1,93	0,85
CV	17,23	21,72	19,94
<b>Traqueíde (lenho tardio)</b>			
<i>Pinus</i> sp.	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)
Média	54,55	22,62	15,96
Desvio padrão	12,93	7,99	7,67
CV	23,70	35,31	48,07
<b>Traqueíde (lenho inicial)</b>			
<i>Pinus</i> sp.	Largura (µm)	Diâmetro do lume (µm)	Espessura da parede (µm)
Média	30,37	22,67	3,85
Desvio padrão	6,41	4,47	2,13
CV	21,10	19,72	55,28

Verificou-se que a fibra de eucalipto da região do cerne apresentou maior média para largura e espessura da parede em relação a fibra da região do alburno. Os traqueídes de pinus da região do lenho tardio apresentaram maiores valores médios para largura e espessura da parede em relação aos traqueídes do lenho inicial (Tabela 4). O lenho inicial nas coníferas é mais permeável do que o lenho tardio, por apresentar células de maior diâmetro e paredes mais delgadas, o que facilita a penetração e permeabilidade do adesivo. Já nas folhosas, a permeabilidade da

madeira depende do número de poros e ou vasos por unidade de área, da sua distribuição e da ocorrência ou não de tiloses.

A estrutura diferenciada dos anéis de crescimento pode ocasionar problemas relativos à penetração de adesivos gerando linha de cola “faminta” ou “espessa”, o que é contornável pela alteração na formulação do adesivo, alterando a viscosidade deste. A colagem com a madeira de pinus pode gerar linha de cola faminta, devido a maior porosidade e permeabilidade, diferentemente da madeira de eucalipto que apresenta menor permeabilidade e maior complexidade de elementos anatômicos, o que contribui para diminuir a absorção do adesivo na madeira, podendo ocasionar em linha de cola espessa. O cerne, em relação ao alburno, é menos permeável, possuindo maiores dificuldades na secagem e na absorção de produtos, como os adesivos (ALBINO et al., 2012). A constatação da presença de tiloses nos vasos da madeira de eucalipto e da presença de resina na madeira de pinus verificada neste trabalho pode ter influenciado na qualidade da colagem, pois tiloses e resinas funcionam como barreiras impedindo a absorção do adesivo na madeira.

Segundo Albuquerque e Latorraca (2000), as propriedades da madeira possuem um nítido efeito nas ligas adesivas e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades do que as coníferas, devido a complexidade estrutural e composição química. Este fato foi verificado neste trabalho, em que houve para os adesivos mais viscosos, uma maior dificuldade de espalhamento do mesmo, principalmente na madeira de *Eucalyptus* sp..

Albino et al.(2012) verificaram que quanto maior a largura da fibra e do raio, maior a penetração do adesivo na célula e, conseqüentemente, maior a adesão entre os dois substratos e maior a resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento.

## **5.5. Ângulo de contato dos adesivos**

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os valores médios dos ângulos de contato dos adesivos em função do tempo, para as madeiras de eucalipto e pinus, respectivamente. A interação entre o tempo e o tipo de adesivo utilizado foi significativa.

Tabela 5: Valores médios para os ângulos ( $^{\circ}$ ) de contato dos adesivos na madeira de eucalipto, em função do tempo (s).

Tempo(s)	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
10	86,4 Aa	44,1 Ca	76,4 Ba	87,9 Aa	75,5 Ba	74,1
30	82,7 Aab	34,3 Cb	69,9 Bb	86,5 Aa	71,2 Bab	68,9
60	79,2 Abc	31,2 Dbc	67,2 Cb	86,9 Aa	67,7 Cbc	66,4
90	76,9 Bbc	29,4 Dbc	66,1 Cb	86,6 Aa	66,3 Cbc	65,1
120	75,5 Bc	28,2 Dc	64,8 Cb	86,5 Aa	64,8 Cc	64
<b>Média</b>	80,1	33,4	68,9	86,9	69,1	-

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

Tabela 6: Valores médios para os ângulos ( $^{\circ}$ ) de contato dos adesivos na madeira de pinus, em função do tempo (s).

Tempo(s)	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
10	83,9 Aba	38,1 Ca	80,9 Ba	86,9 Aa	82,8 Aba	74,5
30	73,6 Bb	31,0 Cb	75,1 Bb	82,3 Aab	77,9 ABab	68
60	65,8 Cc	27,0 Db	72,9 Bb	81,8 Aab	75,5 Bbc	64,6
90	61,3 Ccd	26,1 Db	72,9 Bb	79,9 Ab	73,4 Bbc	62,7
120	57,9 Cd	26,0 Db	71,9 Bb	79,9 Ab	71,0 Bc	61,3
<b>Média</b>	68,5	29,7	74,8	82,2	76,1	-

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.



Nas Tabelas 7 e 8 são apresentadas as imagens ilustrativas para os ângulos de contato dos adesivos nas madeiras de eucalipto e pinus, respectivamente, ao longo do tempo.

Tabela 7: Imagens ilustrativas dos ângulos de contato dos adesivos na madeira de eucalipto, ao longo do tempo.

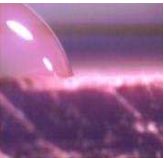

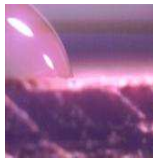




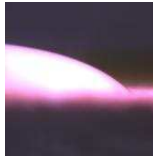
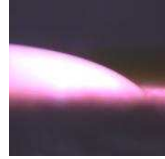


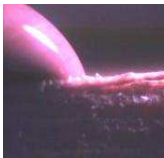

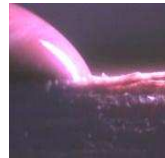
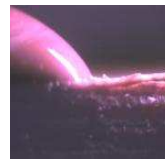






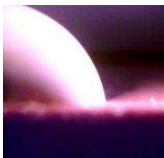

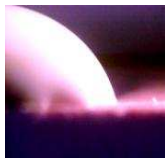













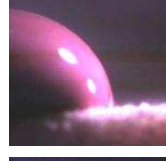












Adesivo	Ângulo de contato (Eucalipto)				
	Tempo (s)				
	10	30	60	90	120
<b>Silicato de sódio</b>					
<b>Mamona</b>					
<b>Resorcinol</b>					
<b>PVA</b>					
<b>Silicato modificado</b>					

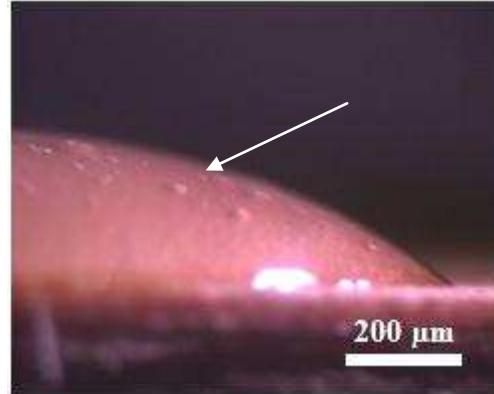
Tabela 8: Imagens ilustrativas dos ângulos de contato dos adesivos na madeira de pinus, ao longo do tempo.

Adesivo	Ângulo de contato (Pinus)				
	Tempo (s)				
	10	30	60	90	120
<b>Silicato de sódio</b>					
<b>Mamona</b>					
<b>Resorcinol</b>					
<b>PVA</b>					
<b>Silicato modificado</b>					

Observou-se que o adesivo de mamona apresentou o menor valor médio para o ângulo de contato, tanto na madeira de eucalipto como na madeira de pinus (Tabelas 5 e 6), ou seja, a força de adesão entre a superfície sólida (madeira) e o adesivo foi maior que a força entre as moléculas do adesivo (força de coesão), fazendo com que a gota fosse estendida sobre a superfície da madeira. Este fato se deve a alta reatividade de polimerização do adesivo de mamona na madeira, ao menor tempo de trabalho e ao elevado teor de sólidos. Verificou-se a formação de bolhas de gás ( $\text{CO}_2$ ) na superfície da gota do adesivo de mamona, originado pela reação de polimerização (Figura 4).

Azevedo (2009) estudando o efeito da radiação nas propriedades mecânicas do adesivo de poliuretana derivado do óleo de mamona utilizou proporção 1:1

(poliol/isocianato) e encontrou ângulo de contato igual a  $88^\circ$ . Vale ressaltar que a autora determinou o ângulo de contato em um equipamento específico, a mesma afirmou que o adesivo apresentou uma superfície hidrofóbica.



**Figura 4.** Bolhas de gás ( $\text{CO}_2$ ) formadas na superfície do adesivo de mamona, indicada pela seta.

Observou-se que os formatos das gotas apresentaram variação entre os adesivos. O adesivo de PVA apresentou formato mais esférico quando em contato com as madeiras de eucalipto e pinus, devido principalmente as forças coesivas do mesmo (Tabelas 7 e 8). As forças coesivas do adesivo de PVA tendem a formar uma gota esférica. Entretanto as forças adesivas entre as madeiras e o adesivo de mamona estenderam a gota, provocando melhor molhabilidade com o substrato.

Independente da madeira utilizada verificou-se que o ângulo de contato dos adesivos diminuiu com o aumento do tempo, este fato era esperado, uma vez que a gota de adesivo ao atingir a madeira, tende a estender-se e espalhar-se sobre a superfície do substrato. Observa-se que inicialmente o ângulo de contato diminuiu rapidamente (fase de espalhamento), mas à medida que o tempo passou, o ângulo de contato reduziu lentamente até atingir o equilíbrio (fase de difusão).

Após o contato inicial do adesivo na madeira, duas forças entram em ação, sendo a força de coesão do líquido que tenta manter a sua forma esférica, correspondente ao estado de mínima energia superficial livre e a força de adesão entre líquido e sólido, em função da tensão superficial, que tenta estender a gota na superfície do substrato (IWAKIRI, 2005).

O adesivo de PVA apresentou o maior ângulo de contato (Tabelas 5 e 6). Este fato se deve a alta viscosidade do adesivo, conferindo uma gota mais esférica, com

maior força de coesão entre as moléculas do líquido, dificultando o espalhamento do adesivo na madeira. A composição do próprio adesivo tem influência na sua tensão superficial e, portanto na sua penetração na superfície da madeira. Scheikl e Dunky (1996) mediram os ângulos de contato do adesivo de uréia-formaldeído na madeira e concluíram que o seu comportamento de molhagem foi influenciado pela viscosidade do adesivo.

Observou-se que o ângulo de contato formado entre a madeira e o adesivo de silicato de sódio foi maior ao se utilizar o eucalipto, em comparação com o pinus. Entretanto, o silicato modificado apresentou menor valor médio para o ângulo de contato ao se utilizar a madeira de eucalipto. Isto pode ser atribuído as características das madeiras como, por exemplo, a densidade e estrutura anatômica, e as viscosidades dos adesivos. A madeira de pinus por apresentar menor densidade facilitou a permeabilidade do adesivo de silicato de sódio, que é menos viscoso, contribuindo para formar um ângulo de menor inclinação sobre a superfície da madeira.

O adesivo de resorcinol-formaldeído apresentou menor e maior ângulo de contato nas madeiras de eucalipto e pinus, respectivamente. O espalhamento da gota de resorcinol sobre a superfície da madeira de eucalipto foi maior, porém vale salientar que a madeira de eucalipto tem menor permeabilidade que a madeira de pinus, o que pode dificultar a molhabilidade do adesivo, o que neste caso não ocorreu. Isto pode ser devido ao processamento da madeira e presença de resina. A preparação da superfície da madeira como corte, aplainamento e lixamento, influenciam no espalhamento e fluidez do adesivo na madeira. Os extrativos afetam a colagem, como a presença de resina no pinus, diminuindo a tensão superficial e a penetração do adesivo, diminuindo também a molhabilidade.

## 5.6. Interface madeira-adesivo

### 5.6.1. Microscopia óptica

#### 5.6.1.1. Espessura da linha de cola

Nas Tabelas 9 e 10 estão os valores médios da espessura da linha de cola ( $\mu\text{m}$ ) em função da gramatura e tipo de adesivo, para as madeiras de eucalipto e pinus, respectivamente.

Tabela 9: Valores médios da espessura da linha de cola ( $\mu\text{m}$ ) para madeira de eucalipto, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Gramatura ( $\text{g/m}^2$ )	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
150	25,9 Cb	32,3 Cb	54,5 BCa	69,1 Aba	94,6 Ab	55,3
200	40,2 Bab	55,8 Bb	60,6 Ba	66,6 Ba	119,7 Ab	68,6
250	65,4 CDa	100,7 Ba	41,8 Da	86,1 BCa	149,0 Aa	88,6
<b>Média</b>	43,8	62,9	52,3	73,9	121,1	-

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

Tabela 10: Valores médios da espessura da linha de cola ( $\mu\text{m}$ ) para madeira de pinus, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Gramatura ( $\text{g/m}^2$ )	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
150	40,4 Cab	3,0 Db	78,3 Ba	128 Aa	65,7 Bca	63,1
200	64,5 Aa	22,3 Bb	52,4 ABab	50,9 ABb	72,4 Aa	52,5
250	32,6 Bb	102 Aa	32,4 Bb	23,3 Bc	79,6 Aa	54
<b>Média</b>	45,8	41,4	54,3	67,4	72,6	-

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

Nas Tabelas 11 e 12 são apresentadas as imagens obtidas na microscopia óptica para a medição da espessura da linha de cola para as madeiras de eucalipto e pinus, respectivamente.

Tabela 11: Espessuras da linha de cola dos adesivos na madeira de eucalipto, obtidas pela microscopia óptica.

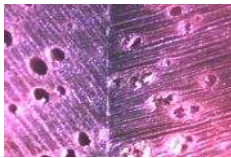
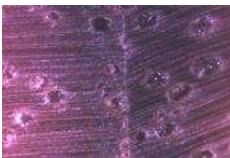
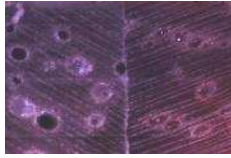

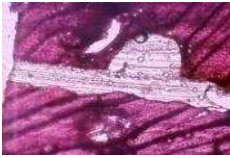
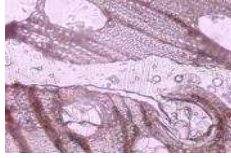
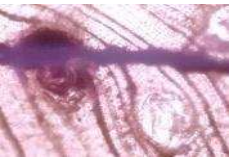
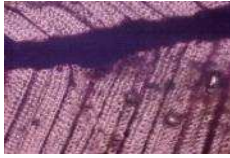
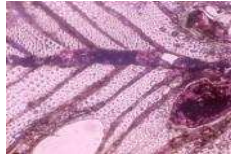



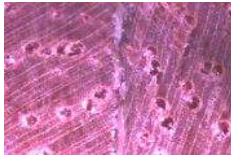
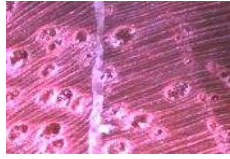
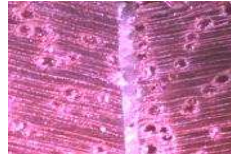
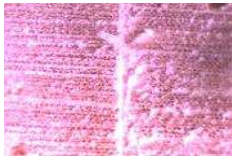
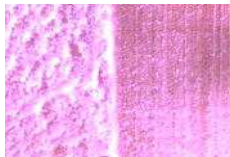
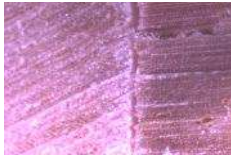
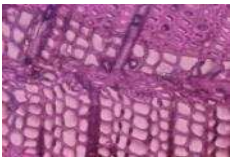
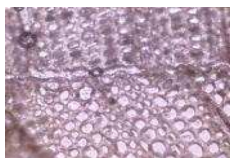

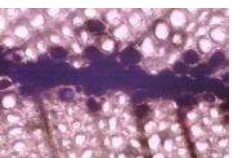


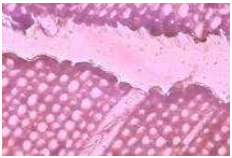
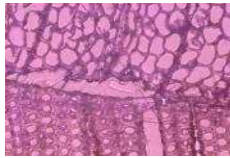
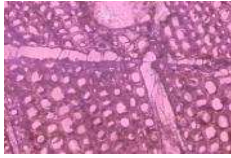
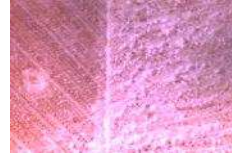

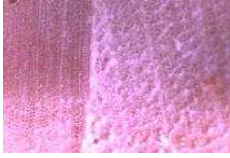
Adesivo	Eucalipto		
	Gramatura do adesivo (g/m <sup>2</sup> )		
	150	200	250
Silicato de sódio			
Mamona			
Resorcinol			
PVA			
Silicato modificado			

Tabela 12: Espessuras da linha de cola dos adesivos na madeira de pinus, obtidas pela microscopia óptica.

Adesivo	Pinus		
	Gramatura do adesivo (g/m <sup>2</sup> )		
	150	200	250
Silicato de sódio			
Mamona			
Resorcinol			
PVA			
Silicato modificado			

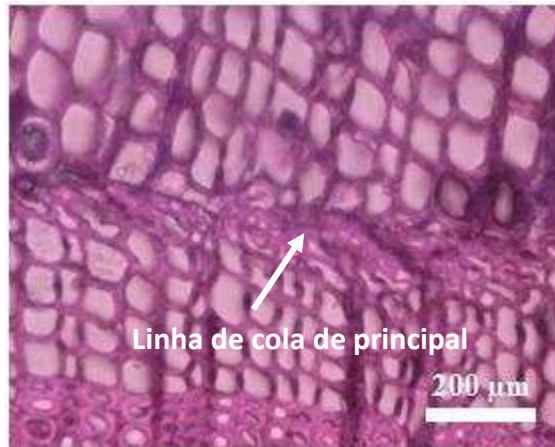
Houve efeito significativo da interação entre a gramatura e o tipo de adesivo utilizado para a espessura da linha de cola. Observa-se para madeira de eucalipto que a espessura da linha de cola proporcionada pelos adesivos de silicato de sódio, mamona e silicato modificado ficaram mais espessas com aumento da gramatura, sendo que as juntas coladas com silicato modificado apresentou linha de cola mais espessa (Tabela 9). Para as juntas de pinus coladas com os adesivos de mamona e silicato modificado, houve aumento da espessura da linha de cola com o aumento da gramatura (Tabela 10). Adesivos viscosos apresentam dificuldade de espalhamento devido a baixa fluidez, originando em menor penetração do adesivo na estrutura capilar da madeira, com a formação da linha de cola mais espessa.

Neste trabalho este fato foi verificado para os adesivos de PVA, mamona e silicato modificado. Para madeiras com baixa densidade, por exemplo, o pinus, coladas com adesivos de baixa viscosidade, como silicato de sódio, houve maior penetração do adesivo e sua absorção pela madeira e, em situação extrema pode ter resultado em linha de cola faminta, resultando em menores valores de espessura da linha de cola. Observou-se para as juntas de pinus coladas com os adesivos de resorcinol-formaldeído e PVA que houve diminuição nos valores de espessura da linha de cola com o aumento da gramatura. Ressalta-se que o mesmo foi verificado para as juntas de eucalipto coladas com adesivo de resorcinol-formaldeído. O adesivo de resorcinol penetrou nas estruturas anatômicas das madeiras de eucalipto (vasos, células de parênquima e fibras) e pinus (traqueídes, raios), formando uma linha de cola principal mais fina com o aumento da gramatura (Tabelas 11 e 12). Isso se deve provavelmente a pressão aplicada que pode ter sido excessiva para a madeira de pinus, uma vez que o pinus é mais permeável que a madeira de eucalipto, o que acarretou em maior penetração dos adesivos de resorcinol e PVA nas estruturas anatômicas da madeira de pinus.

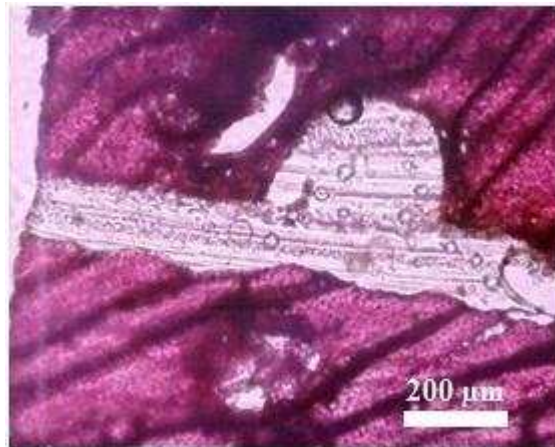
Albino et al (2010) estudaram a interface madeira-adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído utilizando gramatura igual a  $250 \text{ g/m}^2$  em face dupla, e encontraram para o plano longitudinal espessura média da linha de cola principal igual a  $141 \text{ }\mu\text{m}$ . Os mesmos autores verificaram que o adesivo de resorcinol-formaldeído ultrapassou a interface-madeira adesivo, preenchendo as cavidades celulares adjacentes a linha de cola principal. O mesmo fato foi verificado no presente trabalho (Tabelas 11 e 12).

Para a madeira de pinus colada com o adesivo de mamona na gramatura de  $150 \text{ g/m}^2$ , ressalva-se que houve dificuldade na visualização e medição da linha de cola principal (Tabela 10). O adesivo penetrou nas cavidades das células de parênquima, não formando uma linha de cola homogênea, sendo que as células apresentaram-se esmagadas na linha de cola principal (Figura 5). Observou-se nas madeiras de eucalipto e pinus coladas com adesivo de mamona formação de bolhas de gás dentro do vaso e nas células do lenho devido à liberação de  $\text{CO}_2$  gerado pela reação de polimerização entre o polioliol e isocianato (Figuras 6 e 7).





**Figura 5.** Linha de cola principal do adesivo de mamona na madeira de pinus.



**Figura 6.** Adesivo de mamona na interface madeira de eucalipto.

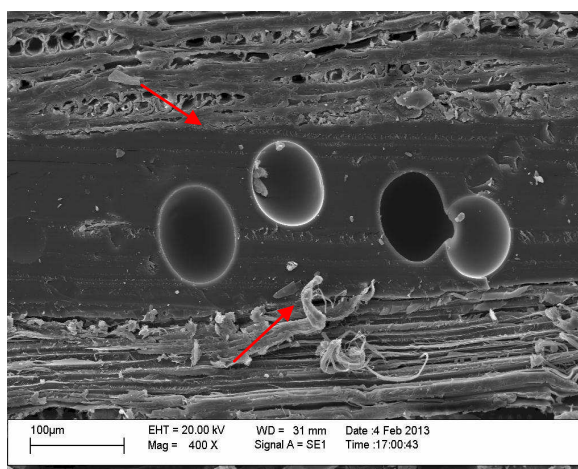


**Figura 7.** Adesivo de mamona na madeira de pinus.

### 5.6.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As amostras de madeiras coladas com os adesivos de silicatos de sódio e amido soltaram ao serem cortadas em micrótomo, e não foi possível visualizar a interface madeira-adesivo, através da técnica de MEV.

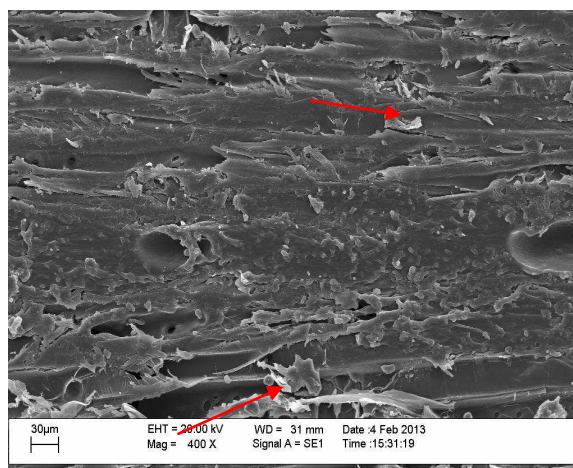
Verificou-se para o adesivo de mamona a presença de bolhas na linha de cola principal, predominantemente na madeira de eucalipto e a interface madeira-adesivo (Figura 8).



**Figura 8.** Presença de bolhas na linha de cola principal na madeira de eucalipto colada com adesivo de mamona e interface madeira-adesivo indicada pelas setas.

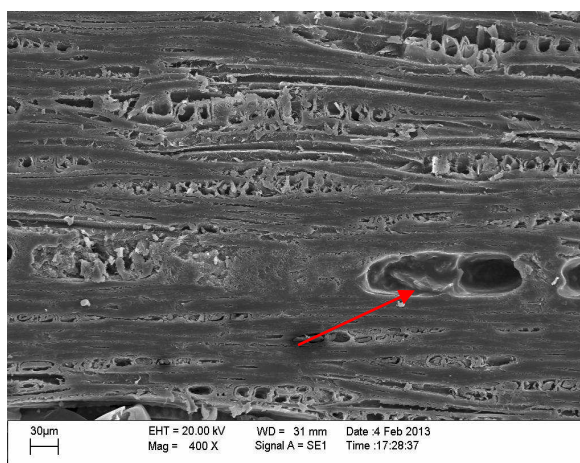
Na reação de polimerização da mistura entre o polioli e o pré-polímero, ocorrem reações paralelas, sendo a mais comum a reação do isocianato com a água, que libera o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que pode promover a expansão do polímero.

Observou-se também a presença do adesivo de PVA na superfície dos traqueídes (Figura 9). Lopes (2008) avaliando painéis de madeira de pinus colados lateralmente verificou através da técnica de microscopia eletrônica de varredura, que a distribuição dos adesivos de PVA e poliuretano nas paredes celulares foi diferenciado, sendo que o adesivo de PVAc espalhou melhor na superfície dos traqueídes em relação ao poliuretano. Segundo a autora, as amostras coladas com emulsão polimérica de isocianato (EPI) apresentaram elevado índice de fratura dos traqueídes na região de cisalhamento quando comparado ao adesivo poliuretano.



**Figura 9.** Adesivo de PVA na superfície dos traqueídes, indicado pelas setas.

Para as juntas de eucalipto coladas com o adesivo de resorcinol-formaldeído, verificou-se a presença do adesivo nos vasos da madeira (Figura 10).



**Figura 10.** Vaso preenchido com adesivo de resorcinol-formaldeído-madeira de eucalipto.

## 5.7. Resistência ao cisalhamento na linha de cola

### 5.7.1. Resistência ao Cisalhamento: Condição seca

Na Tabelas 13 e 14 estão apresentados os valores médios de resistência ao cisalhamento ( $\text{kgf/cm}^2$ ) das madeiras de eucalipto e pinus, respectivamente, na condição seca, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Tabela 13- Valores médios de resistência ao cisalhamento ( $\text{kgf/cm}^2$ ), da madeira de eucalipto, na condição seca, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Gramatura ( $\text{g/m}^2$ )	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
150	23,3 Ba	75,7 Aa	91,8 Aa	71,0 Aa	30,4 Ba	58,4
200	23,1 Ba	74,7 Aa	83,2 Aa	75,2 Aa	30,1 Ba	57,3
250	36,4 Ca	65,0 Ba	62,8 Bb	86,7 Aa	40,7 Ca	58,3
<b>Média</b>	27,6	71,8	79,3	77,7	33,8	

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

Tabela 14- Valores médios de resistência ao cisalhamento ( $\text{kgf/cm}^2$ ) da madeira de pinus, na condição seca, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Gramatura ( $\text{g/m}^2$ )	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
150	3,5	47,7	37,0	45,9	24,1	31,6
200	6,8	43,2	35,9	48,5	25,9	32,1
250	3,2	45,9	46,0	48,5	29,3	34,6
<b>Média</b>	4,5 D	45,6 A	39,6 B	47,6 A	26,4 C	

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

A interação entre gramatura e o tipo de adesivo foi significativa, para a resistência ao cisalhamento na linha de cola da madeira de eucalipto (Tabela 13). Entretanto, para o pinus, não houve interação entre a gramatura e o adesivo, somente efeito isolado do adesivo (Tabela 14).

Observou-se que independente da gramatura e do tipo de madeira utilizada para as colagens, que os adesivos de silicato de sódio e silicato modificado apresentaram os menores valores de resistência ao cisalhamento em relação aos demais. Isto se deve provavelmente a estrutura química do adesivo de silicato e a sua viscosidade. O adesivo de silicato apresenta ligações fracas entre a sílica e o carbonato de sódio, resultando também em menor adesão na madeira. A baixa viscosidade do silicato pode ter ocasionado uma super penetração do adesivo nas cavidades da madeira, gerando uma linha de cola “fina” e até mesmo faminta, podendo esta não ter sido suficiente para promover a adesão na linha de cola.

Os adesivos de mamona, resorcinol-formaldeído e PVA apresentaram os maiores valores de resistência para o cisalhamento na linha de cola da madeira na condição seca. Este fato pode ser atribuído a composição química destes adesivos a exemplo do resorcinol-formaldeído que deriva de reações de condensação entre o resorcinol e o formaldeído, produzindo não só ligações de elevadas resistências mecânicas, mas também resistência à água e as variações climáticas (PIZZI, 1994). Já para o adesivo de mamona a sua resistência na linha de cola é atribuída aos monômeros uretanos produzidos pela reação de compostos hidroxilados com isocianatos. Além dos grupos uretanos, os poliuretanos podem ter hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, grupos éster e éter, uréia, amida, entre outros (AZEVEDO, 2009). Em relação ao PVA, durante a sua polimerização ocorre a eliminação da água de sua composição, sendo que a sua estrutura química se une formando uma linha de cola homogênea e contínua proporcionando resistência de colagem e elasticidade da junta adesiva.

Verificou-se que as juntas de eucalipto coladas com o adesivo de resorcinol-formaldeído apresentaram maior resistência ao cisalhamento. Para as juntas de pinus coladas com adesivo de mamona e PVA observaram-se maiores resistências ao cisalhamento, não diferindo entre si, entretanto as juntas coladas com resorcinol-formaldeído apresentaram menor resistência. Provavelmente a baixa resistência obtida para o adesivo de resorcinol se deve a pressão de  $12 \text{ kgf/cm}^2$  aplicada que pode ter sido excessiva, ou seja, como a madeira de pinus é mais permeável houve maior penetração do adesivo de resorcinol na madeira, o que originou em uma linha de cola principal menos espessa e com menor resistência.

Marcati e Della Lucia (1996) estudando o comportamento do angico-vermelho à adesão com PVA e resorcinol-formaldeído verificaram que o adesivo resorcinol conferiu à madeira colada maior resistência em relação ao PVA, sendo o valor encontrado igual a  $143,5 \text{ kgf/cm}^2$ . Segundo os mesmos autores o adesivo de resorcinol conferiu maior resistência em relação ao PVA, por ser um adesivo estrutural.

Vital et al. (2006), avaliando a qualidade de juntas de lâminas de madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*, coladas com acetato de polivinila e resorcinol-formaldeído, verificaram que os valores médios mais elevados de resistência ao cisalhamento foram obtidos nas juntas produzidas com madeira de *Eucalyptus saligna*. Segundo os mesmos autores, o comportamento diferenciado de

cada adesivo dentro de cada espécie de madeira deve-se, possivelmente, à variabilidade na densidade e permeabilidade de cada tipo de madeira.

Beraldo e Dias (2010) avaliando a resistência ao cisalhamento do adesivo poliuretano (óleo de mamona) para *Pinus ellioti*, verificaram que a proporção 1,5:1 (poliol/endurecedor), mesma proporção utilizada neste trabalho, apresentou resistência ao cisalhamento, teste a seco, igual a 65,77 kgf/cm<sup>2</sup>.

Com relação à gramatura utilizada observou-se para as juntas de eucalipto coladas com os adesivos de mamona e resorcinol que o aumento da gramatura ocasionou em redução significativa da resistência ao cisalhamento na linha de cola. O mesmo não foi verificado para as juntas coladas de pinus. Este fato pode ser justificado provavelmente pelas características dos adesivos como viscosidade e tempo de trabalho, e também pela espessura da linha de cola dos adesivos. O adesivo de mamona apresentou viscosidade elevada e reação rápida de polimerização, resultando em um menor tempo de trabalho, dificultando durante a colagem o seu espalhamento na madeira, ocorrendo provavelmente uma pré-polimerização do adesivo, contribuindo para a diminuição da resistência na linha de cola. Por outro lado, o adesivo de resorcinol-formaldeído apresentou maior tempo de trabalho e maior fluidez na madeira, facilitando a colagem, porém apresentou menor espessura de linha de cola quando foi utilizada maior gramatura, promovendo maior penetração do resorcinol nos vasos e raios da madeira de eucalipto com o aumento da gramatura, fato que pode ter contribuído para menor adesão na linha de cola.

Santos e Del Menezzi (2010) estudando o efeito da gramatura sobre a resistência ao cisalhamento na linha de cola de duas madeiras tropicais verificaram que o adesivo de resorcinol-formaldeído na gramatura de 200 g/m<sup>2</sup> não se mostrou eficiente para a colagem das espécies estudadas.

Teles et al. (2010) estudaram o efeito da gramatura sobre a qualidade de juntas coladas e observaram que a eficiência e a qualidade da adesão do adesivo resorcinol-formaldeído foram influenciadas pela gramatura, mostrando o aumento da resistência da junta colada com o aumento da gramatura do adesivo, sendo a maior resistência obtida na gramatura de 300 g/m<sup>2</sup>.

Neste trabalho, o aumento da gramatura do adesivo de resorcinol-formaldeído ocasionou uma diminuição da resistência ao cisalhamento na linha de cola. Os resultados obtidos na microscopia óptica mostraram que a linha de cola do adesivo de resorcinol diminuiu com o aumento da gramatura, ou seja, houve maior

penetração nas cavidades celulares das madeiras, formando uma linha de cola principal mais “fina”. Durante a prensagem das juntas coladas de eucalipto e pinus, observou-se excesso de adesivo de resorcinol pelas bordas das madeiras com o aumento da gramatura, ressaltando-se que visualmente para o pinus houve menor perda de adesivo pelas bordas, uma vez que esta madeira é mais permeável que a madeira de eucalipto. Vale mencionar que a gramatura é um fator importante quando se trabalha com colagem da madeira, pois depende do teor de umidade tanto do ambiente como da madeira, da viscosidade do adesivo, tipo de madeira, e pressão aplicada, sendo que estes fatores irão influenciar na resistência da junta e qualidade do produto colado.

Petrauski (2012) estudando pórticos de madeira laminada colada de eucalipto, utilizando adesivos à base de resorcinol e óleo de mamona, verificou que variações nas gramaturas de mamona e resorcinol de 200, 250 e 300 g/m<sup>2</sup>, não tiveram efeito significativo sobre a resistência das juntas coladas.

### 5.7.2. Falha na madeira: Condição seca

Nas Tabelas 15 e 16 estão apresentados os valores médios para falha nas madeiras, de eucalipto e pinus, respectivamente, na condição seca, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Tabela 15- Valores médios de falha (%) na madeira de eucalipto, condição seca, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Adesivo				Média	
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA		Silicato modificado
150	1,6 Ba	32,4 Aa	36,0 Ab	16,5 ABb	2,5 Ba	17,8
200	3,0 Da	51,7 ABa	31,8 BCb	62,1 Aa	3,7 CDa	30,5
250	4,5 Ba	30,5 Ba	72,5 Aa	61,5 Aa	4,8 Ba	34,8
<b>Média</b>	3,0	38,2	46,8	46,7	3,7	

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

Tabela 16- Valores médios de falha (%) na madeira de pinus, condição seca, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
150	0,0	35,9	80,1	38,0	2,6	31,3
200	0,0	48,0	71,9	54,2	5,9	36,0
250	0,0	60,0	85,3	38,3	7,9	38,3
<b>Média</b>	0,0 C	48,0 B	79,1 A	43,5 B	5,5 C	

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

Verificou-se que houve efeito significativo da interação entre gramatura e tipo de adesivo, para a falha na madeira de eucalipto (Tabela 15), o que não foi verificado para a madeira de pinus, apresentando apenas efeito isolado do tipo de adesivo, ou seja, não houve efeito da gramatura (Tabela 16).

Observa-se que os adesivos a base de silicato de sódio e silicato modificado apresentaram os menores percentuais médios de falha na madeira na condição seca (Tabelas 15 e 16).

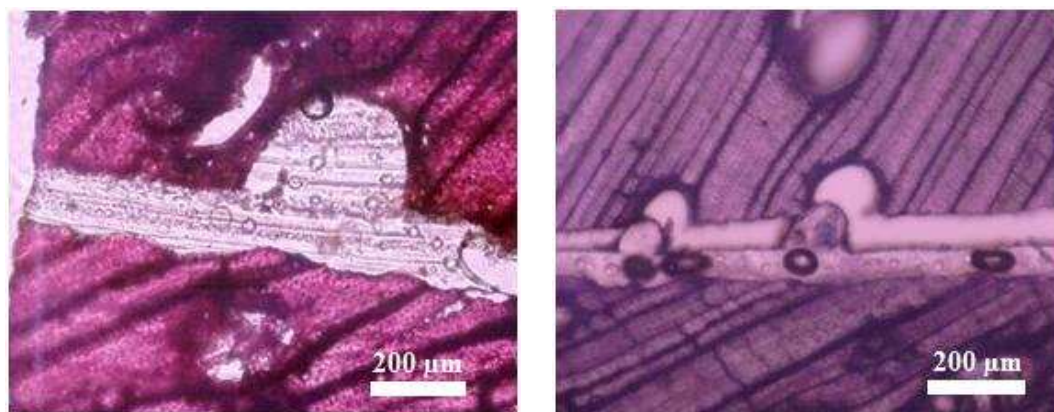
As juntas coladas com o adesivo de resorcinol-formaldeído apresentaram os maiores percentuais de falha na madeira. Isto se deve provavelmente a sua alta reatividade em função da sua estrutura química, pois a presença de hidroxilas no anel aromático do resorcinol contribuiu para maior ligação com as hidroxilas presentes na madeira, aumentando a adesão química. Na adesão química, as forças básicas envolvidas são as de ligações químicas primárias entre o adesivo e o aderente, o que é responsável pela resistência e duração da ligação adesiva (PIZZI e MITTAL, 1994).

Petrauski (2012) verificou que o percentual de falha na madeira das juntas coladas com resorcinol-formaldeído foi afetado pela gramatura.

Observa-se que tanto o adesivo de PVA, quanto o adesivo à base de mamona apresentaram maiores percentuais de falha na madeira, de eucalipto, quando se utilizou a gramatura de 200 g/m<sup>2</sup>. O maior percentual de falha do adesivo de mamona pode ser atribuído provavelmente as ligações químicas entre polioliol e isocianato, e ao enganchamento mecânico do adesivo. O adesivo de mamona forma ligações cruzadas com as hidroxilas da madeira, durante a polimerização do polioliol e isocianato. As



ligações cruzadas são importantes na pós-cura do poliuretano, pois aumentam a resistência do polímero. Observou-se por meio da microscopia óptica que o adesivo de mamona penetrou nos vasos da madeira de eucalipto formando ganchos nas cavidades celulares, o que pode ter contribuído para maior adesão (Figura 11).



**Figura 11.** Linha de cola do adesivo de mamona após polimerização (madeira de eucalipto)

Petrauski et al. (2010) utilizaram o adesivo a base de mamona na gramatura de  $160 \text{ g/m}^2$  e observaram percentuais de falha na madeira, inferiores a 50%.

Vital et al. (2006) obtiveram o menor percentual de falha nas juntas coladas com adesivo a base de resorcinol, quando comparado ao PVA. Entretanto, neste trabalho, as porcentagens de falha na madeira, condição seca, para o adesivo resorcinol foram maiores em relação ao adesivo de PVA, este fato se deve provavelmente a alta viscosidade do adesivo de PVA, que dificultou o espalhamento na madeira, prejudicando as funções de movimento e mobilidade do adesivo, e também pelo fato do resorcinol ser um adesivo estrutural, apresentando durante a polimerização ligações químicas com a madeira que conferem a este adesivo maior adesão na linha de cola.

Iwakiri et al. (2013) avaliando a resistência de juntas coladas de *Eucalyptus benthamii* encontraram para os adesivos de PVA e resorcinol-formaldeído valores percentuais de falha na madeira iguais a 35,97 e 48,61, respectivamente.

Avaliando a falha na madeira de pinus observa-se que o aumento da gramatura não contribuiu para elevar os percentuais de falha quando se utilizou os adesivos de resorcinol e PVA. O adesivo de resorcinol apresentou o maior percentual médio de falha na madeira de pinus, diferindo dos demais (Tabela 16), sendo a mesma obtida na gramatura de  $250 \text{ g/m}^2$  (Tabelas 15 e 16). Este fato pode ser devido à maior penetração do resorcinol nas madeiras. Observou-se através da microscopia

óptica que o resorcinol foi além da interface madeira-adesivo, e apresentou menor espessura da linha de cola com aumento da gramatura. Segundo Tsoumis (1991), quanto maior a espessura da linha de cola menor será a resistência da junta colada. Porém, neste trabalho verificou-se que a maior gramatura utilizada para o resorcinol conferiu menor espessura da linha de cola e maiores percentuais de falha na madeira.

### 5.7.3. Resistência ao cisalhamento: Condição úmida

Nas Tabelas 17 e 18 estão apresentados os valores médios de resistência ao cisalhamento ( $\text{kgf/cm}^2$ ) na linha de cola, condição úmida, das madeiras de eucalipto e pinus, respectivamente, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Tabela 17- Valores médios de resistência ao cisalhamento ( $\text{kgf/cm}^2$ ) na linha de cola da madeira de eucalipto, condição úmida, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Gramatura ( $\text{g/m}^2$ )	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
150	0,0	52,6	72,9	21,0	0,0	29,3
200	0,7	61,3	69,6	22,8	0,0	30,9
250	0,0	49,6	57,1	22,2	0,0	25,8
<b>Média</b>	0,2 D	54,5 B	66,5 A	22,0 C	0,0 D	

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

Tabela 18- Valores médios de resistência ao cisalhamento ( $\text{kgf/cm}^2$ ) na linha de cola da madeira de pinus, condição úmida, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Gramatura ( $\text{g/m}^2$ )	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
150	0,0	28,1	33,0	3,7	0,7	13,1
200	1,0	31,8	37,6	2,7	0,0	14,6
250	1,6	30,9	37,6	2,3	0,0	14,5
<b>Média</b>	0,9 C	30,3 B	36,1 A	2,9 C	0,2 C	

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

Não houve efeito significativo da interação entre gramatura e tipo de adesivo para a resistência ao cisalhamento na linha de cola das madeiras, na condição úmida. Houve somente efeito isolado do tipo de adesivo, ou seja, não houve efeito da gramatura (Tabelas 17 e 18).

Os adesivos de silicato de sódio, silicato modificado, e PVA, apresentaram os menores valores de resistência ao cisalhamento na linha de cola para as juntas coladas com eucalipto e pinus, evidenciando a baixa resistência destes adesivos a água. Logo, os mesmos não devem ser utilizados em ambientes com alta umidade relativa ou em contato direto com a água. É importante mencionar que muitos corpos de prova colados com estes adesivos delaminaram-se quando imersos em água por 24 horas, salienta-se que todos os corpos de prova da madeira de eucalipto colados com o adesivo de silicato modificado delaminaram, não sendo possível a realização do teste.

Os adesivos de mamona e resorcinol apresentaram os maiores valores médios para a resistência ao cisalhamento na linha de cola da madeira, na condição úmida (Tabelas 17 e 18). Para o adesivo de mamona a resistência a umidade se deve provavelmente ao entrecruzamento das ligações químicas, a flexibilidade das cadeias, mais as forças intermoleculares, originando-se em polímeros que variam de lineares a flexíveis, a rígidos altamente entrecruzados, e resistentes à umidade (AZEVEDO, 2009). Com relação ao resorcinol-formaldeído, é relevante mencionar que durante a reação de polimerização são formadas ligações cruzadas que garantem maior reatividade do adesivo e sua resistência à umidade (PIZZI e MITTAL, 1994).

Ladeira et al. (2013) avaliaram a resistência ao cisalhamento de juntas de *Eucalyptus* sp. coladas com adesivos de poliuretano de mamona e resorcinol-formaldeído e verificaram que o resorcinol-formaldeído apresentou maior valor médio para a resistência ao cisalhamento na condição úmida. Os mesmos autores verificaram que não houve efeito da gramatura.

#### **5.7.4. Falha na madeira: Condição úmida**

Nas Tabelas 19 e 20 estão apresentados os percentuais médios de falha nas madeiras de eucalipto e pinus, respectivamente, na condição úmida, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Tabela 19- Valores percentuais de falha na madeira de eucalipto, condição úmida, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
150	0,0	18,4	41,5	2,7	0,0	12,5
200	0,0	27,0	38,6	0,7	0,0	13,3
250	0,0	22,9	72,3	1,4	0,0	19,3
<b>Média</b>	0,0 C	22,8 B	50,8 A	1,6 C	0,0 C	

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

Tabela 20- Valores percentuais de falha na madeira de pinus, condição úmida, em função da gramatura e tipo de adesivo.

Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	Adesivo					Média
	Silicato de sódio	Mamona	Resorcinol	PVA	Silicato modificado	
150	0,0	10,9	63,0	0,0	0,1	14,8 a
200	0,0	20,3	66,1	0,5	0,0	17,4 a
250	0,0	8,9	60,5	0,0	0,0	13,9 a
<b>Média</b>	0,0 C	13,4 B	63,2 A	0,2 C	0,0 C	

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si ( $\alpha=0,05$ ) pelo teste Tukey.

Não houve efeito significativo da interação entre gramatura e tipo de adesivo, para a falha nas madeiras de eucalipto e pinus, na condição úmida, apresentando somente efeito isolado do tipo de adesivo (Tabelas 19 e 20).

Os adesivos de silicato de sódio, silicato modificado e PVA, apresentaram os menores percentuais de falha na madeira, sendo estatisticamente iguais entre si.

Os adesivos de mamona e resorcinol diferiram significamente entre si, sendo que as juntas de eucalipto e pinus coladas com resorcinol-formaldeído apresentaram os maiores percentuais de falha na madeira na condição úmida. O adesivo de resorcinol-formaldeído suporta qualquer condição que venha a ser exposto, mesmo sob alterações climáticas. Esse tipo de adesivo veio atender as necessidades do mercado por ser um adesivo impermeável e de cura a temperatura ambiente, com resistência estrutural elevada, superando a da própria madeira (JESUS, 2000).

De modo geral, segundo vários autores, as resinas poliuretanas têm como característica, alta resistência à umidade. No entanto, os valores médios de falha na madeira úmida observados neste trabalho foram menores quando comparados ao resorcinol-formaldeído. Provavelmente devido a alta viscosidade do mesmo ocasionando baixa fluidez, acarretando dificuldade de espalhamento do adesivo sobre a madeira, comprometendo a ligação adesiva. Outro fato marcante é a rápida reação entre o poliálcool e o endurecedor (isocianato), podendo ter ocasionado uma pré-cura do adesivo antes do mesmo migrar para o interior da madeira. Os adesivos poliuretanos bicomponentes possuem cura rápida, na temperatura ambiente, podendo apresentar cura incompleta se o poliálcool e endurecedor não forem misturados adequadamente (FRIHART, 2005). No entanto, ressalva que o adesivo de mamona apresentou o menor valor médio para o ângulo de contato, mostrando que o adesivo teve maior molhabilidade e umectação com a superfície da madeira.

Beraldo e Dias (2008) avaliaram o desempenho do adesivo de mamona em relação ao resorcinol, sob três proporções de mistura poliálcool/isocianato, na fabricação de juntas para madeira secas ao ar, saturadas e após fervura. Os autores verificaram que o desempenho do adesivo de mamona foi inferior ao do resorcinol, e recomendaram o uso do adesivo de mamona na proporção 1,5: 1 (poliálcool:isocianato).

Ladeira et al. (2013) verificaram que os adesivos de mamona e resorcinol-formaldeído apresentaram valores médios para a falha na madeira na condição úmida, estatisticamente diferentes entre si, sendo que o adesivo de resorcinol-formaldeído foi superior ao adesivo de mamona. Os mesmos autores não verificaram efeito da gramatura para a falha nas madeiras.

## 6. CONCLUSÕES

A viscosidade, teor de sólidos e a composição química dos adesivos influenciaram na resistência e qualidade da linha de cola.

O adesivo de PVA apresentou maior viscosidade e maior ângulo de contato, sendo o adesivo de menor molhabilidade e umectação.

O adesivo de mamona apresentou maior teor de sólidos, menor tempo de trabalho e menor ângulo de contato, sendo o adesivo de maior molhabilidade e umectação.

As ligações químicas originadas na polimerização dos adesivos de resorcinol-formaldeído e bicomponente de mamona conferiram a estes adesivos maiores resistências na linha de cola.

A interação gramatura e adesivo apresentaram efeito significativo nos valores de resistência ao cisalhamento e percentuais de falha das juntas de eucalipto coladas, na condição seca, não havendo efeitos isolados do adesivo e gramatura.

O tipo de adesivo utilizado teve efeito significativo para os valores de resistência ao cisalhamento e percentuais de falha (condição úmida) das juntas coladas de eucalipto e pinus.

Os adesivos de mamona e resorcinol-formaldeído apresentaram os maiores valores de resistência ao cisalhamento na linha de cola e falha na madeira, ressalta-se que o adesivo de mamona apresentou desempenho para a colagem das madeiras de eucalipto e pinus.

A gramatura de 250 g/m<sup>2</sup> utilizada para o resorcinol-formaldeído conferiu menor espessura de linha de cola e maiores percentuais de falha na madeira na condição seca.

Os adesivos de PVA, silicato de sódio e silicato modificado não são indicados para utilização em ambientes úmidos.

O adesivo de silicato modificado apresentou a maior espessura da linha de cola, com o aumento da gramatura, no entanto os valores de resistência ao cisalhamento e falha na madeira não foram satisfatórios.

A forma de obtenção dos corpos de provas colados com silicato de sódio, silicato modificado e PVA, para as análises de microscopias ópticas e varredura, prejudicaram a visualização da interface madeira-adesivo.

Para a madeira de pinus colada com adesivo de mamona, na gramatura de 150 g/m<sup>2</sup>, observou-se que as células do lenho inicial e tardio ficaram deformadas e não foi possível visualizar a linha de cola principal.

A pressão aplicada na madeira de pinus, provavelmente foi excessiva, interferindo nos resultados da interface madeira-adesivo.

A presença de extrativos nas madeiras, como a resina na madeira de pinus, pode ter interferido na colagem, impedindo a adesão na linha de cola.

Os adesivos de mamona, PVA e resorcinol, penetraram nas madeiras, preenchendo cavidades celulares adjacentes a linha de cola principal, nas madeiras de eucalipto (vasos, fibras e células de parênquima) e pinus (traqueídes, raios, pontoações).

Para trabalhos futuros recomendam-se:

Estudar a relação entre diferentes proporções de poliol/isocianato e avaliar a resistência da madeira colada.

Estudar alternativas para aumentar o tempo de trabalho do adesivo de mamona de forma a facilitar o processo de colagem da madeira.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria da Madeira processada mecanicamente. **Artigo técnico nº7**. Curitiba, 2003. 6p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941-02 - Determinação da densidade básica em madeira**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO 12466-1: 2006. Madeira Compensada – Qualidade de colagem. Parte 1: Métodos de ensaio.

ABRAHÃO, C.P.; VARELLA, C.A.A.; PINTO, F. A. de. C.; JUNIOR, J.K.K. Quantificação da falha na madeira em juntas coladas utilizando técnicas de visão artificial. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.1, p. 71-78, 2003.

ALBINO, V.C.do.S.; MORI, F.A.; MENDES, L.M. Estudo da interface madeira-adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v.38, n.87, p.509-516, set.2010.

ALBINO, V.C.do.S.; MORI, F.A.; MENDES, L.M. Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* w. hill ex maiden na qualidade da colagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.22, n. 4, p. 803-811, out/dez, 2012.

ALBUQUERQUE, C.E.C.de.; LATORRACA, J.V.de.F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, v.7, n.1, p.158-166, jan/dez. 2000.

ALBUQUERQUE , C.E.C.; LATORRACA, J.V.F. Colagem varia de acordo com propriedades da madeira REMADE. **Revista da Madeira**.ed 88, mar 2005.

ALMEIDA, V.C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá**. 2009, 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.



ALMEIDA, N.F.; MORI, F.A.; GOULART, S.L.; MENDES, L.M. Estudo da reatividade de taninos de folhas e cascas de barbatimão *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 401-408, set. 2010.

ALMEIDA, V.C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente – EGP**. 2013, 123 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal, área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. **Annual Book of ASTM Standards**: Philadelphia: ASTM D-2339, V. 4.10, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS- ASTM. **D 1084-97**: Standard Test Methods for Viscosity of Adhesives. 1998

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS -ASTM. **Annual book of ASTM standards**. Section 20. Volume 15.06 – Adhesives. West Coshohocken, 2000. 600 p.

ARAÚJO, L.C.R. **Caracterização química, térmica e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos**. 1992. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Instituto de Física e Química de São Carlos - IQSC. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 105p. 1992.

APARECIDA DE SÁ, V.; JUNIOR, J.B.G.; BUFALINO, L.; COUTO, A.M.; MENDES, L.M.; SANTOS, R.C.dos. Absorção de superfície de painéis compensados. **Cerne**, Lavras, v.16, Suplemento, p.53-57, jul.2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR- ISO 12466-1:2006. Madeira Compensada – **Qualidade de colagem**. PARTE 1: Métodos de ensaio.

AZEVEDO, E.C.de. **Efeito da radiação nas propriedades mecânicas do adesivo de poliuretana derivado do óleo de mamona**. 2009, 134p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BERALDO, D. D.; DIAS, A. A. Avaliação do adesivo poliuretano à base de óleo de mamona sob diferentes condições de umidade em ensaios de resistência de emendas

dentadas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais**. Londrina: 2008. CD-ROM.

BERALDO, D.D.; DIAS, A.A. Resistência ao cisalhamento do adesivo poliuretano (óleo de mamona) para a espécie *Pinus elliotti*. **XII Ebramem**- Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Julho de 2010.

BESSANI, T. ; GONDAK, M. O. ; ARAUJO, M. S. Medidas de viscosidade de adesivo a base de amido. 2008. In: **XI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Curitiba, PR, 2008.

BRADY, D.A.; KAMKE, F.A. Effects of hot-pressing parameters on resin penetration. **Forest Products Journal**, Madison, v.38, n.11/12, p.63-68, 1988.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: John Wiley, 1963. 689 p.

CAMPOS, C. L.; LAHR, F. A. R. **Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de Pinus e de Eucalipto utilizando Uréia-Formaldeído**. Rio de Janeiro: [s.n.], v. 9, n. 1, p. 32-42, 2004.

CANGEMI, J.M.; SANTOS, A.M.; CLARO NETO, S. Poliuretano: de travessieiros a preservativos, um polímero versátil. **Química e Sociedade**. São Paulo. v. 31, n.3, 2009.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; MORI, F. A. Reatividade dos taninos da casca de *Eucalyptus grandis* para produção de adesivos. **Cerne**, Lavras, v.7, n.1, p.1-9, 2001.

CARNEIRO, A. C. O. **Efeito da hidrólise ácida e sulfitação de taninos de *Eucalyptus grandis* w. hill ex maiden e *Anadenanthera peregrina* sp., nas propriedades dos adesivos**. 2006, 182 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A. Adesivos e sua importância na indústria madeireira. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Eds.: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. Vitória: Gráfica Aquarius, p.99-128, 2007.

CARNEIRO, R.P. **Colagem de junta de madeira com adesivo epóxi**. 2010, 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

CAVALCA, D. USP desenvolve osso artificial a partir do óleo de mamona. Ageuniara-Agência Experimental de Notícias do Centro Universitário de Araraquara, São Paulo. Disponível em:<<http://www.uniara.com.br/Ageuniara/artigos.asp?Artigo=27>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2014.

CESAR, A.A.da.S. **Estudo da interação adesivo-partícula em painéis OSB (ORIENTED STRAND BOARD)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira). 2011, 88p. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

CLARO NETO, S. **Caracterizações físico-química de um poliuretano derivado de óleo de mamona utilizada para implantes ósseos**. 1997. Tese (Doutorado). Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo.

CONNER, A. H. Wood adhesives. **Encyclopedia of Materials : Science and Technology**, p.9583-9599. 2001.

COPANT. Description del características generales, macroscopicas de las maderas angiospermas dicotiledoneas. Copant, v.30, p. 1-19, 1974.

DADSWELL, H.E. The anatomy of eucalypt wood. Melbourne. Forest Products Laboratory, Csiro, n.66, p. 1-28. 1972.

D'ALMEIDA, M.L.O. Composição Química dos Materiais Lignocelulósicos. In: **Celulose e Papel: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2.ed. São Paulo, IPT-SENAI, 1988.v. 1, Cap. 3.

DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. Avaliação da qualidade de juntas coladas de madeira de três espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 5, n. 2, p. 172-180, 1981.

DUNKY, M.; PIZZI, T.; LEEMPUT, M.V. **Wood Adhesion and Glued Products Working Group 1: Wood Adhesives**. 1st Edition - February 2002.

FAHN, A. **Plant anatomy**. Oxford: Pergamon, 1982. 544 p.

FRANCO, C.M.L. **Propriedades gerais do amido**, vol.1. Campinas Fundação Cargill, 2001. 221p.

FRIHART, C. R. **Wood adhesion and adhesives**. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. Editado por Roger M. Rowell. Boca Raton: CRC Prews, 2005.

FÜHR, M.I. Adesivos. Fundação Liberato Salzano, 2010. Disponível em : <<http://www.gaia.liberato.com.br/Inesfuhr/primeiraaulaadativos.ppt>>. Acesso em: 06 janeiro de 2011.

GALEMBECK, F.; GANDUR, M. C. Cientistas explicam o fenômeno da adesão. **Química e Derivados**. v. 393, p. 24-32. 2001.

GALLETI, S.R. Introdução a microscopia eletrônica. **Biológico**, São Paulo, v.65, n1/2, p.33-35. 2003.

GARCIA, A.; RECH, M. Adesivos para a madeira e móveis. **Revista da madeira**. Ed 128. 2011. Disponível em: < <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira>>. Acesso em: 01/11/2011.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWING, C. H. (Eds) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O PAPEL**, v. 47, n.8, p.36-38, 1986.

GOULART, S.L. **Interação da madeira de *Eucalyptus* spp. com adesivo fenol-formaldeído em painéis compensados**. 2009. Projeto Exame Qualificação- Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração: Processamento e Utilização da Madeira, Universidade Federal de Lavras-Lavras, MG.

HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood**. Berlim: Springer-Verlag, 1997. 362 p.

HSU, W.; E. Wood quality requirements for panel products. **CTIA/IUFRO International Wood Quality Workshop**, 1997.

INEOS SILICAS - Innovation center, Silicatos solúveis e suas aplicações; Disponível em: [www.ineossilica.com](http://www.ineossilica.com) Acesso em: 7 jan. 2011.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF/Série didática no1/98, 1998. 128p.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. Utilização de extensores alternativos na produção de compensados multilaminados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.1, p.77-83, 2000.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fupef. 2005. 254p.

IWAKIRI, S., KEINERT JR., S., MENDES, L. M. Painéis de madeira compensada. In: IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: **Fupez**. 2005. 254p.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; CUNHA, A. B. da.; PRATA, J. G.; HARA, M.; BILA, N. F.; LUIS, R. C. G.; ARAÚJO, R. D. de.; VILLAS BÔAS, B. T. Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 411-416, set.2013.

JANKOWSKY, I. P. **Colagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ, 1988. 45 p.

JESUS, J.M.H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos – EESC - Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2000.

KINLOCH, A. J. **Adhesion and adhesives: Science and Technology**. Londres: Chapman and Hall, ago. 1987.

LADEIRA, J. P. S.; TEIXEIRA, A. P. M.; BIANCHE, J. J.; CARNEIRO, A. de. C. O.; DELLA LUCIA, R.M. Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas de *Eucalyptus* sp. coladas com adesivos de poliuretano de mamona e resorcinol-formaldeído. In: **Simpósio de Integração Acadêmica**. Apresentação oral, 21 a 26 de outubro de 2013, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa-MG.

LAURIE, A. C., *Materials of the painters craft*. London, 1910.

LIMA, J. E. S. Estudo e desenvolvimento de argamassa elastomérica com base uretânica. Dissertação de Mestrado, ITA, 2001.

LIMA, C.K.P.; MORI, F.A.; MENDES, L.M.; CARNEIRO, A.de.C.O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, v.13, n.2, p.123-129, abr./jun.2007.

LIMA, C.K.P.. MORI, F.A.; MENDES, L.M.; TRUGILHO, P.F.; MORI, C.L.S.de.O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais **Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 73-77, mar. 2008.

LOPES, M.de.C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente.** 2008. Tese (Doutorado em Ciências Florestais e da Madeira), Universidade Federal do Paraná-Curitiba, 2008.

MARCATI, C.R.; DELLA LUCIA, R.M. Comportamento do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* benth.) à adesão com PVA (acetato de polivinila) e resorcinol formaldeído. **Revista Cerne**, Lavras v.2, n.1, 1996.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding – principles in practice.** New York, VanNostrand Renhold. 453p.,1992.

MENDOZA, Z.M.dos.S.H.de. **Efeito da inclusão laminar nas propriedades de painéis aglomerados fabricados com resíduos da indústria laminadora.** 2010. 109p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010.

MORAIS, S.A.L. **Contribuição ao estudo químico e espectroscópico da lignina de madeira moída do *Eucalyptus grandis*: isolamento, quantificação e análise estrutural.** 1992, 175 p. Tese (Doutorado em Ciências – Química Orgânica). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1992.

MORAIS, R.D.V. Produção e caracterização físico-mecânica do painel de compensado de *Pinus sp.* produzido com resina poliuretana bi-componente. 2008. 74p. **Monografia.** Engenharia industrial Madeireira, Faculdade Campus Itapeva, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, SP, 2008.

MOREIRA, W.S. **Extensores alternativos para produção de compensados com resina uréia-formaldeído.** 1985, 81 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1985.

NASCIMENTO, A. M.; DELLA LUCCIA, R. M.; VITAL, B. R. Colagem de emendas biseladas em madeiras de *Pinus* spp. e *Eucalyptus citriodora*. **Revista Floresta e Ambiente**; Rio de Janeiro, v. 8, p. 44-51, 2001.

OLIVEIRA, M. P.; DANTAS, W. C. V. Evolução dos adesivos ecologicamente corretos para o setor madeireiro. In: II SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO – SIF. **Revista da Madeira**, set. 2003.

OLIVEIRA, L.R.; BARIANI, M.H.; ZAPPA, V. Utilização da mamona na medicina veterinária. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**. Garça, São Paulo, ano VII, n.12, janeiro, 2009.

PASSEROTTI, G.F.A. Produção e caracterização de painel de partículas homogêneas (cph) a partir de *Eucalyptus sp.* e adesivo poliuretano bi-componente. **Monografia**. Graduação em Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, São Paulo, 2008.

PEREIRA, F.A.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; DELLA LÚCIA, R.M.; JÚNIOR, W.P.; BIANCHE, J.J. Propriedades físico-químicas de briquetes aglutinados com adesivo de silicato de sódio. **Floresta e Ambiente**, v.16, n.1, p. 23-29, 2009.

PETRAUSKI, S.M.F.C.; CARNEIRO, A.C.O.; PETRAUSKI, M.C.; PETRAUSKI, A. Avaliação de juntas coladas com adesivos poliuretanos. In: **XII EBRAMEM- Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, 25 a 28 de julho de 2010, Lavras/MG.

PETRAUSKI, S.M.F.C. **Desenvolvimento de pórticos de madeira laminada colada de eucalipto, utilizando adesivos à base de resorcinol e óleo de mamona**. 2012, 139 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

PETRIE, E.M. **Porosity Sealants, Special Chem 4 Adhesives**, September 10, 2003.

PINTO, J.A. **Análise da viabilidade do uso da madeira de “*Cryptomeria japonica*” para laminação e produção de painéis compensado**. 2011, 92p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: M. Dekker, 1994. 289 p.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994.

PIZZI, A., Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. **Journal Adhesion Science Technology**, vol. 20, n. 8, p. 829–846, 2006.

PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. da S.; ABRAHÃO, C. P.; BRAZ, R.L. Comportamento de juntas coladas na madeira serrada de *Eucalyptus sp.* **Cerne**, Lavras v.14 n.3, p. 251-258, 2008.

QUINI, J.G. **Adesivos estruturais uretânicos aplicados a combinações de compósitos, plásticos e metais**. 2011, 141p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear-Materiais)-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

RIVER, B.H. Fracture of adhesive-bonded wood joints. In: PIZZI, A.; MITTAL, K.L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, Inc.; 1994. Capítulo 9, 27 p.

SANTOS, C. M. T. dos.; DEL MENEZZI, C. H. S. Efeito da gramatura sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola de duas madeiras tropicais: Seru (*Allantoma lineata*) e Marupá (*Simarouba amara*). **Floresta**, Curitiba, Paraná, v.40, n.2, p.345-354, abr/jun.2010.

SCHEIKL, M.; DUNKY, M. (1996) Harnstoff-Formaldehyd-Harze als flüssige Phase bei der Benetzung von Holz. *Holzforschung und Holzverwertung*, 48(4), 55-57.

SCHULTZ, J.; NARDIN, M. Theories and mechanisms of adhesion. In: Pizzi, A.; Mital, K. L. (Ed.). **Handbook of adhesive technology**. New York: M. Dekker, 1994. p. 19-32.

SEBENIK, U.; KRAJNC, M., Influence of the soft segment length and content in the synthesis and properties of isocyanate – terminated urethane prepolymers. *International Adhesion & Adhesives*, 27, 527-535, 2007.

SELLERS JR., T. Adhesive in the Wood Industry. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.599-614, cap. 37.

SHREVE, R. N. **Indústrias de Processos Químicos**. Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 64 p. 1980.



SILVA, S.A.M.da.; CHRISTOFORO, A.L.; PANZERA, T.H.; LAHR, F.A.R. Painéis MDF produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Vértices**, Campos dos Goytacazes-RJ, v.15, n.1, p. 7-20, jan./abr.2013.

SINGH, A.P.; DAWSON, B.; RICKARD, C.; BOND, J.; SINGH, A. Light, confocal and scanning electron microscopy of wood-adhesive interface. **Microscopy and Analysis**, Surrey, v.22, n.3, p.5-8, 2008.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. 218p.

Sodium silicate: Uses. Disponível em:

<[www.museumstuff.com/learn/topics/sodium\\_silicate::sub::Uses](http://www.museumstuff.com/learn/topics/sodium_silicate::sub::Uses)> Acesso em: 9 de janeiro de 2011.

STURION, D.J. Uso do polímero de mamona na impermeabilização de lesões podais de bovinos. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar**, Umuarama, v.7, n.1, jan./jun. 2004.

STELLA, J.C. A influência de variáveis do ciclo de prensagem e gramatura de cola nas propriedades mecânicas de compensados de paricá(*Schizolobium amazonicum*). **Monografia** apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

TAPPI. T 204 cm-97. **Solvent extractives of wood and pulp**. 1997, 4-10p.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry – TAPPI. **TAPPI test methods T 257 om-92**: sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, v.1, 1992.

TELES, R.F.; MENEZZI, C.H.S.D.; SOUZA, F.; JUNIOR, G.B.; SOUZA, M.R. Efeito da gramatura sobre a qualidade de juntas coladas para a espécie *Sextonia rubra*. **In: XII Ebramem**- Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Julho de 2010.

TIENNE, D.L.da.C. **Qualidade da adesão de juntas coladas expostas às condições de serviço externo e interno**. 2006, 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2006.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

URBINATI, C.V. **Influência das características anatômicas em juntas coladas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (Paricá)**. 2013, 161 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como Matéria-Prima) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2013.

VICK, C. B. Adhesive bonding of wood materials. Forest Products Laboratory. **Wood handbook—Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. cap.9, p.199-222.

VITAL, B. R.; MACIEL A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliotti*. **Revista Árvore**, julho/agosto, 2006, vol 30, n.004, p.637-644.

VILAR, W.D. Química e tecnologia dos poliuretanos, 3 ed., Vilar Consultoria, 2002. Disponível em:< <http://www.poliuretanos.com.br>>. Acesso em: 25/09/2010.

WENG, L.Y. **Adição de amido em massa comercial para produção de louça de mesa por colagem sob pressão**. 2009, 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais)-Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba- Curitiba, 2009.

ZANGIÁCOMO, A.L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003, 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos. 2003.

ZANUNCIO, A. J. V.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B.; CARNEIRO, A. de. C. O.; VITAL, B.R. **Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste**. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 755-760, out.-dez., 2013.